DIE

SPECTRALANALYSE

IN IHRER

ANWENDUNG AUF DIE STOFFE DER ERDE

UND DIE

NATUR DER HIMMELSKÖRPER.

GEMEINFASSLICH DARGESTELLT

VON

Dr. H. SCHELLEN,

DIRECTOR DER REALSCHULE I. O. ZU CÖLN.

MIT 158 FIGUREN IN HOLZSCHNITT,
2 FARBIGEN SPECTRALTAFELN UND 4 PORTRAITS.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON GEORGE WESTERMANN.
1870.

Uebersetzungsrecht vorbehalten.

Vorwort.

Das vorliegende Werk verdankt seine Entstehung einer Reihe von öffentlichen Vorträgen, welche der Verfasser im vergangenen Winter in dem hiesigen Vereine für wissenschaftliche Vorlesungen gehalten hat. Derselbe beabsichtigt damit einestheils, das Wesen der Spectralanalyse und die verschiedenen Erscheinungen derselben leicht fasslich darzustellen und dadurch auch ohne Voraussetzung anderweitiger physikalischer Kenntnisse einen jeden Gebildeten in den Stand zu setzen, sich mit der neuesten und glänzendsten Entdeckung unseres Jahrhunderts bekannt zu machen, anderntheils, von der grossen Bedeutung, welche die Spectralanalyse für den Physiker, den Chemiker, den Technologen, Physiologen und Astronomen gewonnen hat, von der Grösse ihrer Tragweite und von ihrem mächtigen Einflusse auf die verschiedenen naturwissenschaftlichen Disciplinen ein anschauliches Bild zu geben.

Der Leser, welcher nicht Naturforscher von Fach ist, wird durch das Buch in ein neues Gebiet eingeführt, dessen

Umfang sich in wenigen Jahren über alle Stoffe der Erde und weit darüber hinaus bis in die tiefsten und entlegensten Theile des Weltenraumes ausgedehnt hat; er lernt die neue Sprache des Lichtes kennen, die mit unzweideutigen Zeichen ihm Kunde giebt von der Natur der irdischen Stoffe und der physischen Beschaffenheit der Himmelskörper. Der Eingeweihte wird darin manche Einzelheiten finden über die Einrichtung der verschiedenen Apparate und die Mittel, um die einzelnen Spectra und ihre Eigenthümlichkeiten durch objective Darstellung einem grösseren Zuhörerkreise vorzuführen und so die glänzenden Entdeckungen und Erscheinungen, deren directer Anblick nur demjenigen vergönnt ist, welcher sich des Besitzes besonderer Instrumente zu erfreuen hat, zum Gemeingute Aller zu machen.

Um das Verständniss derjenigen Resultate, welche die Anwendung der Spectralanalyse auf die Himmelskörper ergeben hat, zu unterstützen, hat der Verfasser bei jeder einzelnen Gruppe derselben eine übersichtliche Darstellung der durch das Teleskop bereits gewonnenen Kenntnisse vorausgeschickt und damit zugleich einen Einblick in die fortschreitende Entwickelung und die theilweise Umgestaltung der Himmelskörper zu geben gesucht.

Es gereicht schliesslich dem Verfasser zur grossen Freude, bei dem Erscheinen dieses Werkes denjenigen Gelehrten, insbesondere den Herren Huggins, P. Secchi,

Lockyer und Zöllner, welche ihn durch Mittheilung ihrer Arbeiten unterstützt haben, so wie dem Herrn Verleger, welcher die höchst sorgfältige typographische Ausstattung und die Bearbeitung der vielen, zum Theil sehr schwierigen Abbildungen mit unausgesetzter Theilnahme überwacht hat, hierfür seinen wärmsten Dank auszusprechen.

Cöln.

Der Verfasser.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/spectralanalyse0000drhs

Inhaltsverzeichniss.

I. Abtheilung.

Die künstlichen Quellen der höchsten Wärme- und Lichtgrade.

		Seite
1.	Einleitung	3
2.	Der Sauerstoff	10
3.	Der Wasserstoff	12
4.	Das Leuchten der Flamme	13
5.	Der Bunsen'sche Brenner	18
6.	Verbrennung von Kalium und Natrium	21
7.	Das Magnesiumlicht	22
8.	Die Knallgasflamme	26
9.	Das Drummond'sche Kalklicht	30
10.	Der elektrische Funken	32
11.	Der Funken-Inductor	36
12.	Glühen der Gase; die Geissler'schen Röhren	37
13.	Der galvanische Flammenbogen; das elektrische Licht	42
14.	Der Regulator des elektrischen Lichtes	49

II. Abtheilung.

Die einfachen und zusammengesetzten Spectra in ihrer Anwendung auf die Stoffe der Erde.

15.	Das Licht	57
16.	Analogie zwischen Licht und Schall	59
17.	Analogie zwischen Farbe und Ton	66
18.	Die Brechung des Lichtes	70
19.	Die Brechung des Lichtes durch ein Prisma	76
20.	Das Sonnenspectrum	84
21.	Das Spectrum der festen und flüssigen glühenden Körper	89
22.	Einfluss der Spaltöffnung auf die Reinheit des Spectrums	92

Seite
23. Das Spectrum des elektrischen Kohlenlichtes 94
24. Wiedervereinigung der Spectralfarben zu Weiss 96
25. Das continuirliche Spectrum der festen und flüssigen Körper 98
26. Spectra der Dämpfe und Gase 99
27. Spectralapparate 106
28. Einfluss der Temperatur und der Dichtigkeit auf die Gasspectra 118
29. Bezeichnung der Spectrallinien 121
30. Das Vergleichsprisma 124
31. Die Körperfarben 129
32. Die Phosphorescenzfarben 135
33. Absorption des Lichtes in festen Körpern 146
34. Absorption des Lichtes in Flüssigkeiten 147
35. Absorption des Lichtes in Gasen 152
36. Beziehung zwischen Emission und Absorption des Lichtes 155
37. Die Umkehrung der Gasspectra 157

III. Abtheilung.

Die Spectralanalyse in ihrer Anwendung auf die Himmelskörper.

38. Das Sonnenspectrum und die Fraunhofer'schen Linien . . 177
39. Coincidenz der dunkeln Fraunhofer'schen Linien mit hellen Spectrallinien der irdischen Stoffe 187
40. Kirchhoff's Ansicht über die physische Beschaffenheit der Sonne 193
41. Die Erdlinien im Sonnenspectrum 197
42. Wasserdampf auf der Sonne. — Sonnenflecke und ihr Spectrum 200
43. Sonnenfinsternisse 225
44. Die totale Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868 . . . 231
45. Photographische Bilder der Sonnenfinsterniss 236
46. Die Corona und ihr Spectrum 254
47. Die Protuberanzen und ihr Spectrum 260
48. Beobachtung des Protuberanzen-Spectrums bei Sonnenschein. — Die Umgebung des Sonnenkörpers . . . 270
49. Beobachtung der Protuberanzen bei Sonnenschein . . . 286
50. Messung der Richtung und der Geschwindigkeit der Gasströme auf der Sonne 298
51. Die Spectralanalyse der Himmelskörper. — Sternspectroskope 312
52. Das Spectrum des Mondes und der Planeten 326
53. Das Spectrum der Fixsterne 329

Seite
54. Secchi's Fixstern-Typen 336
55. Die Farbe der Sterne. — Doppelsterne 343
56. Veränderliche Sterne 349
57. Neue oder temporäre Sterne 353
58. Die Bewegung der Sterne im Weltenraume 361
59. Spectra der Nebelflecke und Sternhaufen 368
60. Spectra der Kometen 392
61. Die Sternschnuppen, Meteorschwärme, Feuerkugeln und ihre Spectra 420
62. Die Spectra der Blitze 447
63. Das Spectrum des Nordlichtes 450

Erste Abtheilung.

Die künstlichen Quellen der höchsten Wärme- und Lichtgrade.

1. Einleitung.

Noch ist der 18. August des vorigen Jahres, der Tag der grossen centralen Sonnenfinsterniss in Indien, in Aller Erinnerung, eines Naturereignisses, welches mehr als je zuvor das Interesse der ganzen gelehrten und gebildeten Welt in Anspruch genommen und einen aussergewöhnlichen Aufwand von Geld und Mühe gekostet hat, um zum ersten Male eine neue physikalische Untersuchungsmethode, die Spectralanalyse, auf die Erforschung jener räthselhaften Erscheinungen anzuwenden, welche stets die Begleiter der centralen Sonnenfinsternisse sind, die aber bis dahin mit einem so dichten Schleier des Geheimnisses umhüllt waren, dass sich ihnen gegenüber die Kraft auch der besten und grössten Fernrohre als ohnmächtig erwiesen hatte. Wir dürfen uns sagen, dass gerade jetzt, wo die Berichte der verschiedenen Expeditionen an die gelehrten Körperschaften abgegeben sind, und nicht blos die Fachjournale, sondern auch die öffentlichen Blätter den Triumph der Spectralanalyse laut verkünden, eine geordnete, übersichtliche und experimentale Darstellung dieser neuen Untersuchungsmethode von besonderem Interesse sein muss, und dieses um so mehr, als die sämmt-

lichen Spectralerscheinungen einem wahren physikalischen Feenreiche, einer Welt voll Zauber und Pracht angehören, aus welcher Diamanten, Rubinen und alle Arten von Edelsteinen ihr blitzendes Feuer holen; einem Ocean, dessen Wellen sich über das ganze Weltall ergiessen; einem Meere, durch dessen Wogenschlag allein alles Körperliche auf der Erde und am Himmel in die äussere Erscheinung tritt — der Welt des Lichtes und der Farben.

Denn unter Spectrum versteht man in der Physik nicht ein Gespenst oder eine Geistererscheinung, wie es eine wörtliche Uebersetzung des Wortes wohl vermuthen lassen könnte, sondern jenes anmuthige, liebliche, in allen Regenbogenfarben glänzende Bild, welches man erhält, wenn man das Licht der Sonne oder eines andern leuchtenden Gegenstandes durch ein dreikantig geschliffenes Glas, ein sogenanntes Glasprisma, hindurchgehen lässt.

Das unbewaffnete Auge vermag in den verschiedenen Lichtern, dem Lichte der Sonne, des Mondes, der Oel-, Petroleum- oder Gaslampe, dem Magnesium-, Kalk- oder elektrischen Lichte, ausser einer geringen Nuancirung in der Farbe und der Lichtstärke, keine Verschiedenheit wahrzunehmen; ganz anders, wenn das Auge ein Glasprisma zu Hülfe nimmt und mittelst desselben diese verschiedenen Lichter anschaut. Dann erscheinen demselben sehr schöne Farbenbilder oder Spectra, deren Beschaffenheit und Aussehen von der Natur des Stoffes abhängt, welcher das Licht aussendet. Die Verschiedenheit dieser Farbenbilder ist sogar derart charakteristisch, dass jedem in Gasform glühenden und leuchtenden Stoffe ein besonderes, nur diesem Stoffe angehörendes Spectrum entspricht.

Sind daher durch vorangegangene Untersuchungen die Spectra der einzelnen Stoffe ein für allemal bestimmt; hat man sich dieselben aufgezeichnet oder dem Gedächtnisse eingeprägt, so kann man in jedem vorkommenden Falle aus der Gestalt des Spectrums oder der Spectra, welche ein Körper von unbekannter Zusammensetzung ausstrahlt, sofort die einzelnen Stoffe erkennen, aus denen derselbe zusammengesetzt ist.

Hiermit ist schon im Allgemeinen das Wesen der Spectralanalyse angedeutet. Sie analysirt die Körper in ihre Bestandtheile, nicht wie der Chemiker mit Kolben und Retorten, mit Reagentien und Niederschlägen, sondern durch das Lichtbild oder das Spectrum, welches sie erzeugen, wenn sie sich in einem Zustande hoher Lichtausstrahlung befinden.

Die Spectralanalyse verdrängt die bisherige Methode der chemischen Analyse in keiner Weise; denn sie befasst sich nicht mit der wirklichen Zerlegung oder Zusammensetzung der Körper, nicht mit den chemischen Operationen des Scheidens oder des Verbindens der Stoffe; sie wird vielmehr nur angewendet, um ein noch unbekanntes Terrain vorläufig zu sondiren und zu recognosciren, und hält für den Physiker, den Chemiker und den Astronomen Wache, um jeden in Sicht kommenden Stoff sofort zu signalisiren.

Und mit welcher Schärfe, mit welcher Empfindlichkeit verfährt dabei die Spectralanalyse! Wenn Wage und Mikroskop und jedes andere Mittel, welches dem Physiker und dem Chemiker für die Erkennung der Stoffe zu Gebote stehen, versagen, so genügt meist ein Blick in den

Spectralapparat, um das Vorhandensein eines Stoffes nachzuweisen. Theilt man ein Pfund Kochsalz in 500,000 gleiche Theile, so heisst das Gewicht eines dieser Theilchen ein Milligramm. Der Chemiker vermag mit den feinsten Wagen und unter Anwendung besonderer Kunstgriffe noch das Gewicht eines solchen Stäubchens zu bestimmen; aber damit ist er auch hart an die Grenze des chemischen Erkennens und Wägens des Natriums, des Hauptbestandtheils im Kochsalze, angekommen. Nun aber theile man sich jenes winzige Milligramm noch in drei Millionen Theile, so gelangt man zu einem so kleinen Stäubchen, dass dafür jede Anschauung fehlt. Ein solches Theilchen aber ist hinreichend, um sich noch mit aller Bestimmtheit und Unzweideutigkeit in einem Spectralapparate zu erkennen zu geben. Man braucht in einem Saale an irgend einer Stelle nur ein altes bestäubtes Buch zusammenzuschlagen, um sofort in einem weit davon entfernt stehenden Spectroskope das Aufblitzen einer gelben Lichtlinie wahrzunehmen, welche wir später als ein untrügliches Zeichen des Vorhandenseins des Natriums kennen lernen werden.

Es war zu erwarten, dass eine so feine Untersuchungsmethode, der sich kein bekannter Stoff entziehen kann, sehr bald zur Aufspürung und Entdeckung neuer Elemente führen musste, die bis dahin unbekannt geblieben waren, weil sie überhaupt nur sehr spärlich in der Natur verbreitet vorkommen, oder anderen Stoffen gegenüber zu wenig charakteristisch hervortreten, als dass sie durch die bisherigen unvollkommenen chemischen Methoden von diesen hätten unterschieden werden können.

Diese Voraussicht hat sich denn auch bei den ersten

in dieser Richtung gethanen Schritten glänzend bestätigt. Diejenigen Physiker, welchen man die Entdeckung der Spectralanalyse oder doch die erste Construction praktischer Spectralapparate und deren Einführung in die Wissenschaft und Praxis verdankt, die beiden Heidelberger Professoren Bunsen und Kirchhoff, entdeckten mit ihren neuen Apparaten sehr bald zwei neue Metalle, das Caesium und das Rubidium, zu welchen seitdem in dem Thallium, dem Indium und dem Jargonium noch drei andere hinzugekommen sind.

Aber alle diese glänzenden und erstaunenswerthen Resultate, welche die Spectralanalyse auf dem Gebiete der Physik und der Chemie liefert, werden noch weit übertroffen von ihren Leistungen auf dem Gebiete der Himmelskunde oder der Astronomie. Das Newton'sche Gesetz der Gravitation hat uns die Mittel an die Hand gegeben, den Lauf der Himmelskörper, der Erde, der Planeten und Kometen durch Rechnung zu bestimmen, ihre Bahnen zu verzeichnen, sowie ihre relativen Stellungen in diesen Bahnen und, was dadurch bedingt wird, Ebbe und Fluth auf der Erde, die Verfinsterungen und Bedeckungen der Himmelskörper im Voraus zu berechnen. Aber dieselbe Gravitation fesselt den Menschen an die Erde und gestattet ihm nicht, sich davon zu entfernen. So kommt denn nur auf den Schwingen des Lichtes die Nachricht von dem Vorhandensein zahlloser Welten, von denen wir umgeben sind, zu uns. Das Licht allein, welches von diesen Gestirnen ausgeht, ist der geflügelte Bote, der uns Kunde über ihr Dasein und ihre Beschaffenheit überbringen kann; die Spectralanalyse hat dieses Licht zu einer Leiter

gemacht, auf welcher der menschliche Geist Billionen und abermal Billionen Meilen weit in den unermesslichen Weltenraum hinaufsteigt, um die chemische Constitution der Gestirne zu erforschen und ihre physische Beschaffenheit zu studiren.

Bis vor wenigen Jahren war das Teleskop das einzige Mittel, welches uns bei diesen Untersuchungen Hülfe leistete; aber die Nachrichten, die uns auf diesem Wege über die Sterne und Nebelhaufen zugingen, waren nur sehr spärlich und beschränkten sich auf einige dürftige Aufschlüsse über ihre äussere Gestalt, Grösse und Farbe.

Seit dem Jahre 1859 ist nun auch die Spectralanalyse in den Dienst der Astronomie getreten, und ihre Leistungen sind für die kurze Zeit von zehn Jahren nach den verschiedensten Beziehungen hin wahrhaft erstaunenswerth. Wir zerlegen gegenwärtig das Licht der Sonne, der Planeten, der Fixsterne, der Kometen und Nebelhaufen mittelst des Prisma in seine Bestandtheile, und erhalten von diesen Lichtern die Spectra in ähnlicher Weise, wie wir das Spectrum irgend eines irdischen leuchtenden Stoffes darstellen. Indem wir dann die Spectra der Sterne mit den Spectren unserer irdischen Stoffe vergleichen, gelangen wir aus der völligen Uebereinstimmung oder Abweichung derselben mit einer an mathematische Gewissheit grenzenden Sicherheit zu dem Resultate, dass diese Stoffe in jenen entfernten Himmelskörpern enthalten sind oder nicht.

Das ist in allgemeinen Zügen das Wesen und die Tragweite der Spectralanalyse. Ihr Ausgangspunkt ist das Spectrum eines jeden einzelnen Stoffes, und um dieses zu erhalten, ist es erforderlich, dass der Stoff nicht blos

leuchte, sondern eine hinreichende Fülle von Licht aussende. Die dunkeln Körper sind für den Spectralapparat unwirksam; sollen sie der spectralanalytischen Untersuchung unterzogen werden, so müssen sie vorab in den Zustand intensiven Leuchtens versetzt werden.

Es giebt bekanntlich drei verschiedene Formen, in denen die Körper auftreten; sie sind entweder fest, flüssig oder luftförmig; ebenso bekannt ist es, dass bei der gewöhnlichen Temperatur die Körper in der Regel nicht leuchtend sind, und es fragt sich daher, welcher Mittel wir uns bedienen, um die verschiedenen Stoffe, mögen sie fest, flüssig oder gasförmig sein, in den Zustand des hellen Leuchtens zu versetzen. Die Antwort auf diese Frage werden wir sofort zur Hand haben: „Wir erhitzen diese Stoffe bis zur vollen Gluth!“ Aber nicht so leicht dürfte die Beantwortung der andern Frage werden: wie es einzurichten ist, um so hohe Hitzegrade zu erzeugen, dass dabei alle Stoffe intensiv leuchten; und ferner: wie es praktisch anzufangen ist, um auch die luftförmigen Stoffe, wie die uns umgebende atmosphärische Luft, den Sauerstoff, den Wasserstoff u. s. w. bis zum hellen Glühen und Leuchten zu erhitzen.

Es erscheint daher angemessen und um spätere Unterbrechungen und Wiederholungen zu vermeiden nothwendig, bevor wir zu der Spectralanalyse selbst übergehen, vorher in aller Kürze diejenigen Mittel zu besprechen, welche die Chemie und die Physik uns an die Hand geben, um alle nicht gasigen Stoffe, die schwer schmelzbaren Metalle nicht ausgenommen, in den gasförmigen Zustand überzuführen und die Gase hellleuchtend zu machen. Wir haben dabei

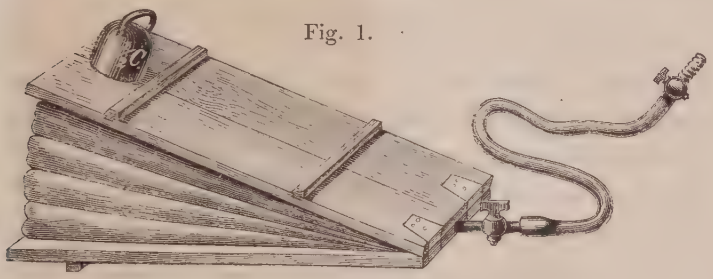
zugleich Gelegenheit, uns vorübergehend mit denjenigen Stoffen bekannt zu machen, welche bei allen chemischen Processen, und nicht minder in dem Leben der Menschen, der Thiere und der Pflanzen eine Hauptrolle spielen. Indem wir für unseren Zweck davon absehen, wie die Wärme durch Druck oder Stoss, durch Reibung oder andere mechanische Arbeiten erzeugt wird, kommen wir sofort zu der Hauptquelle der Wärme und des Lichtes, zu der Verbrennung.

2. Der Sauerstoff.

Einen Körper verbrennen heisst im Allgemeinen nichts Anderes, als eine Verbindung zwischen seinen stofflichen Theilen und dem Sauerstoff zu Stande bringen. Der Sauerstoff aber ist ein Gas, das sich durch den blossen Anblick von der atmosphärischen Luft nicht unterscheiden lässt, denn es ist, wie diese, durchsichtig, farb-, geruch- und geschmacklos. Er bildet mit einer andern Luftart, dem Stickstoff, die atmosphärische Luft, und wir athmen daher mit jedem Athemzuge eine erhebliche Quantität dieser beiden Gase ein. Der Sauerstoff hat eine grosse Neigung, sich mit den übrigen Körpern zu verbinden; geschieht dieses, so wird stets Wärme erzeugt. So entsteht Wärme, wenn Eisen oder ein anderes Metall sich mit dem Sauerstoff der Atmosphäre verbindet und den so gefürchteten Rost darstellt; aber wir gewahren diese Wärme nicht, weil sie bei der Langsamkeit der Verbindung nur in unbedeutender Quantität entwickelt wird und sich sogleich den übrigen Körpern im Raume mittheilt. Es ent-

steht Wärme, wenn wir den Sauerstoff der Luft einathmen und ihn in den Lungen mit dem Kohlenstoffe des Blutes in Verbindung bringen; dass unser Körper unter allen Umständen und selbst unter dem Eispole die zum Leben nöthige Wärme selbstthätig erzeugt, verdanken wir diesem unausgesetzten Verbrennen des Blutes durch den Sauerstoff der Atmosphäre. Es entsteht endlich Wärme und ein ungemein hoher Grad von Hitze, wenn wir den Sauerstoff der Atmosphäre durch Blasebälge fangen und ihn den verbrennenden Kohlen zuführen, oder ihn mit mächtigen

Fig. 1.



Gassack für Sauerstoff oder Wasserstoff.

Gebläsen unter starkem Druck und in reichster Fülle in die Hoh- und Schmelzöfen treiben. Selbst unbrennbar, unterhält und befördert er das Verbrennen; er ist, wie zum Leben der Thiere und Pflanzen, so zum Verbrennen der Körper unentbehrlich.

Wir können leicht in einem luftdicht schliessenden, aus gummirter Leinwand angefertigten Gassacke (Fig. 1) eine Quantität Sauerstoff in Vorrath halten. Der Sack liegt zwischen zwei mit Gewichten beschwerten Brettern und das Gas wird daher, wenn wir den Hahn des Sackes öffnen, durch den Gummischlauch ausströmen. Wir versuchen, den

ausströmenden Strahl zu entzünden, aber es gelingt nicht; die Flamme des brennenden Spans wird stark angefacht und seine Verbrennung lebhaft befördert, aber das Gas entzündet sich nicht; wenn wir die Flamme entfernen, strömt es nach wie vor ohne Flamme unentzündet aus.

Wir füllen jetzt eine Glasglocke mit Sauerstoff und tauchen von oben her ein vorher angezündetes Stück Phosphor in die Glocke hinab. Der Phosphor verbrennt mit Heftigkeit und verbreitet ein intensives Licht um sich. Ebenso verbrennen auch die Metalle, z. B. eine stählerne Uhrfeder (Fig. 2) in reinem Sauerstoff, wenn man sie vorher bis zur Glühhitze erwärmt hat, und diese Verbrennung ist stets von einer starken Lichtentwicklung begleitet.

Fig. 2.

Verbrennung einer Stahlfeder in Sauerstoff.

3. Der Wasserstoff.

Mit dem Sauerstoff im engsten Bunde gewahren wir bei den meisten Verbrennungen, die in Form einer Flamme vor sich gehen, ein anderes Gas, den Wasserstoff. Es hat seinen Namen von dem Wasser, in welchem es den Hauptbestandtheil bildet. Zerlegen wir Wasser in seine

Bestandtheile, so erhalten wir stets zwei Masstheile Wasserstoffgas und einen Masstheil Sauerstoffgas. Lassen wir aus einem mit Wasserstoffgas gefüllten Gassacke das Gas ausströmen, so entzündet es sich sofort an einem brennenden Spane und brennt mit sehr schwach leuchtender Flamme fort; aber eine Entzündung der ganzen in dem Sacke enthaltenen Gasmenge erfolgt nicht und würde auch nicht eintreten, wenn wir mitten in die eingeschlossene Gasmenge eine Flamme hielten, ja diese Flamme würde in Mitte des Wasserstoffgases sogar verlöschen.

Das Wasserstoffgas brennt also an der atmosphärischen Luft, indem es sich mit dem Sauerstoff derselben verbindet; es ist entzündlich und verbrennlich, jedoch nur bei Anwesenheit von Sauerstoff oder eines andern Gases, welches sich mit ihm zu einem neuen Körper vereinigt.

4. Das Leuchten der Flamme.

Richten wir nun unsere Aufmerksamkeit auf den grossen Unterschied in der Leuchtkraft des brennenden Wasserstoffs und des Phosphors. Woher rührt dieser Unterschied? Der chemische Process des Verbrennens von Phosphor und Wasserstoff ist derselbe; die Temperaturdifferenz ist auch nicht sehr bedeutend; der Unterschied scheint daher nur in einer Verschiedenheit der Verbrennungsproducte zu liegen. Beim Phosphor sehen wir dieses Product als festen Körper in der Form eines weissen, dichten Nebels (Phosphorsäure) auftreten; bei dem verbrennenden Wasserstoffgase bemerken wir das Product der Verbrennung gar nicht, weil es gasförmiges Wasser, Wasserdampf ist.

Diese Wahrnehmung können wir mit wenigen Ausnahmen bei allen Verbrennungen machen, welche unter sehr hoher Temperatur stattfinden. Eine Flamme, in welcher weder die Producte der Verbrennung als feste Körper, noch sonst ein fremder fester Körper glüht, leuchtet in der Regel nur wenig, selbst wenn die Temperatur der Verbrennung sehr hoch ist; daher strahlen bei gleich hoher Temperatur die glühenden festen und flüssigen Körper weit mehr Licht aus, als die gasförmigen oder die Flammen; je durchsichtiger diese sind, desto weniger Licht geben sie. Die Flamme des brennenden Wasserstoffgases wird sofort hellleuchtend, wenn wir darin irgend einen festen Körper zum Glühen bringen.

Halten wir eine Spirale von Platindraht in die Flamme, so leuchtet sie hell auf; wir erkennen darin noch deutlich den glühenden Draht und werden sagen, dass jetzt nicht die Wasserstoffflamme, sondern der weissglühende Metalldraht leuchte. Die chemische Verbindung des Wasserstoffgases mit dem Sauerstoff der Luft giebt in der That zunächst nur die Wärme her, welche den festen Körper glühend macht; der glühende Platindraht ist es, nicht die Flamme, welcher das intensive Licht ausstrahlt.

Bringen wir ein Körnchen Kochsalz in die lichtlose Flamme, so leuchtet sie ebenfalls in gelbem Lichte hell auf. Das Kochsalz zertheilt sich in Millionen der kleinsten Partikelchen, die alle in der Flamme glühen, im Einzelnen gar nicht mehr unterscheidbar sind und so der Wasserstoffflamme das Aussehen geben, als ob sie selbst leuchte.

Aber wir brauchen nicht zu diesen mehr oder weniger künstlichen Versuchen überzugehen; nehmen wir die Flamme,

die wegen ihrer hohen Leuchtkraft dem Gase, durch dessen Verbrennung sie erzeugt wird, den Namen gegeben hat. Unser Leuchtgas ist eine chemische Verbindung von Wasserstoffgas und Kohlenstoff, welchem zuweilen noch mehr als nöthig andere verunreinigende Bestandtheile beigemengt sind.

Der Kohlenstoff, nach dem Sauerstoff wohl der kostbarste aller Stoffe, gleich werthvoll in seiner Krystallform als Diamant, wie als schmutzige, schwarze Steinkohle, ist in dem Leuchtgase nicht bemerklich; in seiner Verbindung mit dem Wasserstoffgase hat er sowohl sein Brillantfeuer, als auch seine schwarze Farbe aufgegeben und er erscheint dann gleich dem Wasserstoff als ein durchsichtiges Gas, freilich nicht als selbständiger Körper, sondern in der innigsten chemischen Verbindung mit dem Wasserstoff, als Kohlenwasserstoff.

Wird dieses Gas, wie es aus dem gewöhnlichen Brenner ausströmt, in Berührung mit dem Sauerstoff der Luft angezündet, so verbindet sich dieser zum grössten Theile mit dem Wasserstoff des Gases, und ein reichlicher Theil Kohlenstoff, für welchen nicht Sauerstoff genug vorhanden ist, wird ausgeschieden. Die Verbrennung findet fast nur am Rande der Flamme statt, wo sie mit dem Sauerstoff der Luft in Berührung steht; in dem mittleren Theile derselben wird das Leuchtgas durch die Hitze der Verbrennung blos zersetzt, und in dieser Hitze kommen die ausgeschiedenen, fein vertheilten Kohlenpartikelchen in das lebhafteste Glühen und Leuchten. Was also der Gasflamme die Leuchtkraft verleiht, sind die ausgeschiedenen festen, glühenden Kohlentheilchen; wollen wir diese sehen,

so brauchen wir nur einen kalten Körper, z. B. eine Porzellantasse, in den leuchtenden Theil der Flamme zu halten; die ausgeschiedene Kohle bedeckt dann in der Form des feinsten Russes die Schale.

Ganz dasselbe tritt ein bei der Verbrennung von Talg, Stearin, Oel oder Petroleum; beim Anzünden der Kerzen oder der Lampen werden die genannten Brenn- oder Leuchtstoffe zuerst zersetzt und es bilden sich durch die Verbrennungswärme verschiedenartige Kohlenwasserstoff-Verbindungen in gasförmiger Gestalt. Bei nicht ausreichendem Sauerstoff verbrennt nur ein kleiner Theil des Kohlenstoffs sofort und unter sehr grosser Wärmeentwicklung am Rande; hier ist das Product der Verbrennung ein Gas (Kohlensäure) und daher leuchtet dieser Randtheil der Flamme nur sehr wenig; im Innern der Flamme aber, wo Mangel an Sauerstoff ist, kommen die festen Kohlentheilchen zum Glühen; sie entweichen dann aus der Flamme und verbrennen bei ihrem Austreten am Rande derselben. Die glühenden festen Kohlentheilchen sind es daher, welche der Flamme die Leuchtkraft verleihen.*

* Nach den neuesten Untersuchungen von Frankland hat die Dichtigkeit des verbrennenden Gases, und nach St. Claire Deville die durch den Druck bedingte Temperatur den wesentlichsten Einfluss auf die Leuchtkraft einer Flamme. Es giebt manche Fälle, welche beweisen, dass die Anwesenheit fester Bestandtheile in der Flamme keineswegs nothwendig ist, um dieser die Leuchtkraft zu verleihen; es wird daher auch in Zweifel gestellt, ob der aus der Gasflamme auf ein Stück Porzellan sich absetzende Russ fester Kohlenstoff ist, oder vielmehr ein Conglomerat der dichtesten lichtgebenden Kohlenwasserstoff-Verbindungen. Dass die sehr helle Flamme von Kohlengas vollkommen durchsichtig ist, hat Frankland dadurch nachgewiesen, dass er das intensive elektrische Licht durch eine

Nichts ist daher leichter, als einer brennenden und hellleuchtenden Gasflamme das Licht zu nehmen; man braucht dem Leuchtgase, bevor es verbrennt, nur eine hinreichende Menge Sauerstoff oder atmosphärische Luft beizumengen, genügend, damit der Sauerstoff bis in das Innere der Flamme dringe und alle im Leuchtgase vorhandene Kohle verbrenne. Geschieht dieses, so hört die Gasflamme sofort auf, leuchtend zu sein, und befindet sich dann fast unter denselben Umständen wie die Flamme des reinen Wasserstoffgases. Bei hinreichender Menge von Sauerstoff erfolgt die Verbrennung sowohl des Wasserstoffs, als des Kohlenstoffs ungemein rasch und in allen Theilen der Flamme zugleich; die natürliche Folge hiervon ist, dass wegen der ungleich grösseren Wärmeentwicklung die nicht leuchtende Gasflamme viel heisser ist, als die leuchtende; sie ist eine Heizflamme, eine Quelle der Hitze anstatt des Lichtes.

---

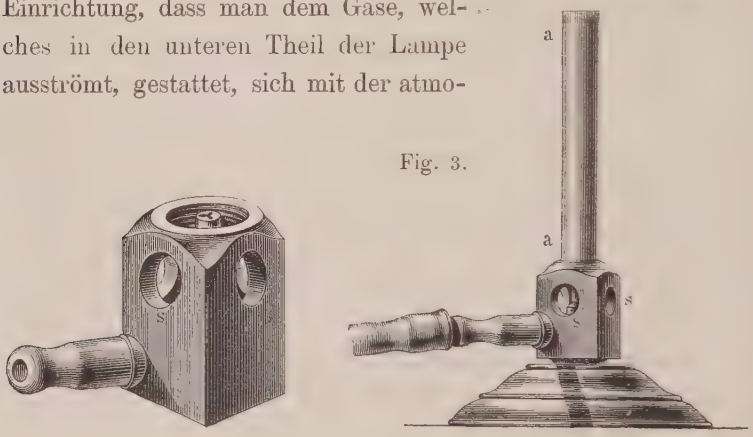
solche Flamme hindurchgehen und es dann auf einen Schirm fallen liess; von der Anwesenheit fester glühender Kohlentheilchen in der Gasflamme war dabei nichts zu erkennen.

In der Ecole normale zu Paris wird gegenwärtig eine grosse cylindrische Kammer von Eisen construirt, welche einen starken, durch eine Dampfpumpe hervorzubringenden Druck aushalten kann und geräumig genug ist, um den Experimentator mit seinen Apparaten aufzunehmen. Deville wird dieselbe benutzen, um unter einem Druck von wenigstens drei Atmosphären, welchen der Mensch ohne Nachtheil aushalten kann, seine Versuche über den Zusammenhang zwischen der Temperatur, dem Druck und der Leuchtkraft der Flammen anzustellen.

5. Der Bunsen'sche Brenner.

Die Richtigkeit des Gesagten lässt sich leicht an einer von Bunsen construirten Lampe (Fig. 3) zeigen, welche ein wesentliches Requisit bei allen spectralanalytischen Untersuchungen ist. Die Lampe dient dazu, um durch die schnelle Verbrennung der Kohlenstofftheilchen des Leuchtgases einen hohen Hitzegrad zu erzeugen, und hat blos die Einrichtung, dass man dem Gase, welches in den unteren Theil der Lampe ausströmt, gestattet, sich mit der atmo-

Fig. 3.



Bunsen'scher Gasbrenner.

sphärischen Luft reichlich zu vermengen, bevor es zu der Ausflussöffnung gelangt, wo es verbrennt. Zu diesem Zwecke ist der untere Raum *s* durchlöchert, damit die äussere Luft während des Brennens durch diese Oeffnungen von selbst einströme. Das Gas nimmt an dieser Stelle Luft in hinreichender Fülle auf und steigt dann durch das Rohr *aa* in die Höhe.

Die Flamme leuchtet nicht, aber ihre Hitze ist sehr bedeutend; versperrt man der äusseren Luft den Zugang

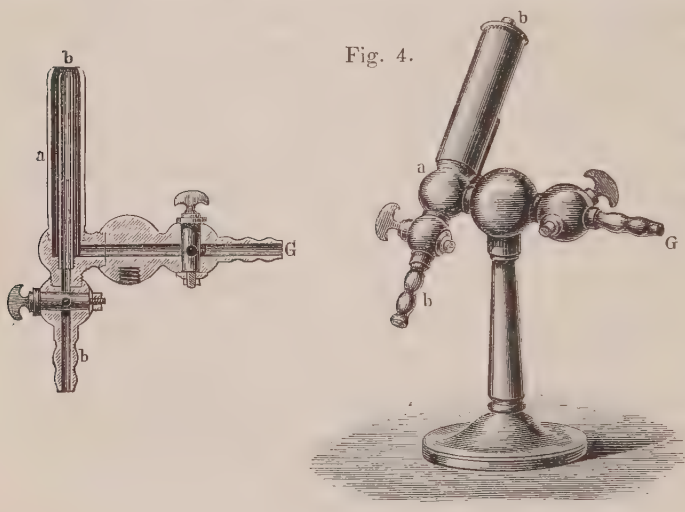
zu dem Leuchtgase, indem man mit den Fingern die Oeffnungen in dem Mischraume *s* schliesst, so fängt die Flamme sofort an zu leuchten; sie scheidet jetzt wieder reichlich Kohlentheilchen aus, während man bei der lichtlosen Heizflamme auf der Porzellanschale gar keinen Russ erhält.

Richtet man, wie es für Spectralarbeiten sehr erwünscht ist, den Brenner so ein, dass man nach Willkür und Bedürfniss den Zutritt der Luft zu dem Leuchtgase ganz oder theilweise absperren kann, was sich durch Umdrehen eines durchlöcherten Ringes leicht bewerkstelligen lässt, so kann ein und derselbe Brenner dazu dienen, nach einander eine Leuchtflamme und eine Heizflamme herzugeben. Wenn der Ring den Zutritt der Luft zu dem Gase absperrt und die Oeffnungen des Mischraumes ganz geschlossen hält, leuchtet die Flamme wie jede gewöhnliche Gasflamme hell auf; dreht man den Ring und öffnet die Löcher des Mischraumes, so strömt die Luft ein, das Leuchten hört auf und die Flamme ist eine Heizflamme.

Die Hitze dieser Flamme ist so gross, dass darin sehr viele Stoffe, die man spectralanalytisch untersuchen will, in den gasförmigen Zustand verwandelt werden und dabei hinreichend stark leuchten, um ein deutlich wahrnehmbares Spectrum zu erzeugen. Aber eine weit grössere Hitze erhält man, wenn man es der atmosphärischen Luft nicht überlässt, sich selbstthätig dem Leuchtgase zuzugesellen, sondern dieselbe vermittelst eines kräftigen Blasebalgs mit Gewalt und in reichlicher Menge mitten in das ausströmende Leuchtgas hinein presst. Eine Vorrichtung dieser Art sehen wir in dem Gasgebläse (Fig. 4), bei wel-

chem das Leuchtgas aus der Gasleitung G in ein weites, unten geschlossenes, mittelst eines Zapfens um das Stativ drehbares Rohr a einströmt und am Ende desselben austritt. Mitten durch dieses Rohr a läuft ein zweites engeres Rohr bb, durch welches die atmosphärische Luft vermittelst eines Blasebalgs und Gummischlauches in den ausströmenden Gasstrahl hineingepresst wird. Die Leuchtgas-

Fig. 4.



Bunsen'sche Heizlampe mit Gebläse.

flamme erhält auf diese Weise sowohl rings herum am Rande, als auch in der Mitte den Sauerstoff in so reicher Fülle, dass sie bei der grossen Quantität des vollständig verbrennenden Wasser- und Kohlenstoffs eine ungemein grosse Hitze erzeugt. Ueber die Ausflussöffnung der Gase lässt sich ein Rohr hin- und herschieben, um theils hierdurch, theils durch die Hähne den Hitzegrad der Flamme beliebig reguliren zu können. Je grösser die Quantität

des Leuchtgases ist, welches man in einem bestimmten Raume verbrennen kann und je grösser die Lebhaftigkeit, die Schnelligkeit der Verbrennung ist, desto grösser ist auch die erzielte Hitze. In den grösseren Laboratorien pumpt man daher mittelst einer besonderen Luftpumpe die atmosphärische Luft in einen starken eisernen Behälter von mehreren Cubikfuss Inhalt und comprimirt sie in demselben bis auf $1^1/_2$ oder 2 Atmosphären. Lässt man dann die zusammengepresste Luft mit einem reichen Strome von Leuchtgas auf ähnliche Weise wie in der vorigen Lampe aus einer gemeinsamen Düse ausströmen, so erzeugt die entzündete Flamme durch die rapide und vollständige Verbrennung einer grossen Quantität Kohlenwasserstoff eine so bedeutende Hitze, dass man darin selbst grössere Mengen der schwerflüssigsten Metalle, z. B. ein paar Pfund Platina, in wenigen Minuten schmelzen kann.

6. Verbrennung von Kalium und Natrium.

Wenden wir uns von den lichtlosen Heizflammen wieder zu den leuchtenden Flammen. Es giebt Stoffe, die eine so grosse Verwandtschaft zu dem Sauerstoff haben, dass sie denselben sogar aus seinen innigsten Verbindungen herausreissen, um selbst eine neue Verbindung mit ihm einzugehen.

Nehmen wir ein erbsengrosses Stückchen Kalium, ein Metall, welches silberweiss und glänzend von Ansehen ist, auf dem Wasser schwimmt, und den Hauptbestandtheil der Pottasche und des Salpeters bildet. Wenn wir dasselbe in's Wasser werfen, so tritt sofort eine Lichtentwick-

lung ein und das Kalium läuft mit Zischen auf dem Wasser herum. Der Vorgang ist hier der, dass das Metall das Wasser zerlegt und sich mit dem Sauerstoff desselben zu einem festen Körper verbindet; es wird dabei eine solche Hitze erzeugt, dass das ausgeschiedene Wasserstoffgas sich entzündet und in dieser Wasserstoffflamme das verdampfende und verbrennende Kalium mit einer violetten Färbung zum heftigen Glühen kommt.

Das Natrium, welches in der Spectralanalyse eine sehr hervorragende Rolle spielt, verhält sich ähnlich wie das Kalium. Es ist ebenfalls ein silberglänzendes, bei der gewöhnlichen Temperatur wachsweiches Metall, welches in Wasser geworfen auf demselben zischend herumfährt, dabei lebhaft Wasserstoffgas entwickelt, aber durch seine geringere Verwandtschaft zum Sauerstoff bei der Verbindung mit demselben nicht so viel Wärme entwickelt, dass der Wasserstoff sich entzündet. Erhitzt man dagegen das Natrium genug an der Luft, so verbrennt es mit einer intensiven gelben Flamme. In beiden Fällen ist das Product der Verbrennung ein fester Körper.

7. Das Magnesiumlicht.

Unter allen Stoffen aber, die sich wie das Natrium bei dem blossen Erhitzen an der freien Luft entzünden und dann fortbrennen, zeichnet sich durch die ausserordentliche Entwicklung von Wärme und Licht das Magnesium aus. Auch dieses Metall ist silberweiss und von ausgezeichnetem Metallglanze; es ist zwar sehr leicht, aber doch etwas schwerer als Wasser, so dass es nicht auf

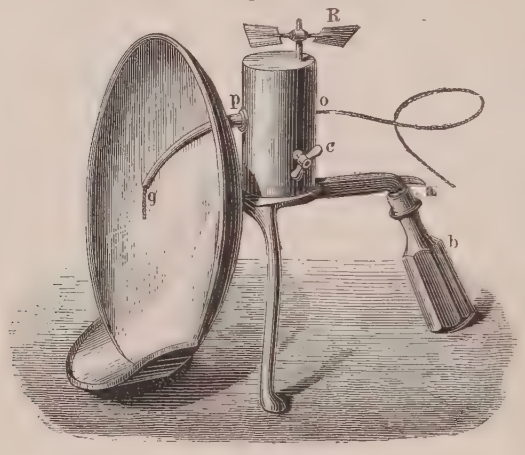
letzterem schwimmt. Wenn man es bis zu einem gewissen Temperaturgrade an der Luft erhitzt, so entzündet es sich und brennt dann auf Kosten des Sauerstoffs derselben mit einem so weissen und blendenden Lichte, dass das Auge in der Nähe den Glanz nicht ertragen kann.

Die Verbrennung des Magnesiums geht sehr schnell vor sich und das feste Verbrennungsproduct, die glühende feste Magnesia, strahlt ein sehr intensives Licht aus; letztere steigt theils in der Form eines weissen Rauches in die Höhe, theils fällt sie als weisses Pulver zu Boden. Die Leuchtkraft der Sonne ist zwar noch 524mal so gross als die des Magnesiumlichtes, aber an chemisch wirksamen Strahlen, an der Kraft des Lichtes, chemische Wirkungen zu erzielen, übertrifft die Sonne das Magnesium doch nur um das Fünffache. Darum eignet sich dieses Licht so ausgezeichnet für photographische Aufnahmen von Gegenständen, die schlecht beleuchtet sind, von Kunstgegenständen in dunkeln Schlössern und Kirchen, von unterirdischen Bauwerken, von kleinen landschaftlichen Bildern als Mondscheinlandschaften u. s. w. Dass die römischen Katakomben in ihren wichtigeren Theilen, so wie die dunkeln Grabeskammern im Innern der Pyramiden durch Magnesiumlicht herrliche photographische Bilder geliefert haben, ist bekannt.

Leider ist der Preis dieses kostbaren Metalls noch immer hoch; er betrug vor etwa acht Jahren noch acht Thaler pro Loth; durch die infolge starker Nachfrage eingetretene verbesserte Darstellungsweise ist der Preis bedeutend gesunken, aber er steht heute immer noch auf circa zwei Thaler pro Loth. Man kann annehmen, dass

der gewöhnliche Magnesiumdraht in einer Minute ungefähr $^1/_{10}$ Gramm ($^3/_{500}$ Loth) im Werthe von vier und ein halb Pfennig verbrennt und dabei ein Licht erzeugt, welches an Intensität vierundsiebzig Stearinkerzen, von denen fünf auf's Pfund gehen, erzeugt. Auf Grund dieser Erfahrungszahlen lässt sich leicht berechnen, dass die Einheit des Lichtes bei der Verbrennung von Magnesium doch nicht

Fig. 5.



Magnesiumlampe.

viel höher zu stehen kommt, als bei der Verwendung von Stearinkerzen.

Für die praktische Benutzung des Magnesiumlichtes muss die Verbrennung regulirt und das Licht möglichst concentrirt nach jeder beliebigen Richtung hin geleitet werden können. Die von Grant und Salomon in London construirten Lampen erreichen diesen Zweck ziemlich vollständig. Sie bestehen (Fig. 5) aus einem in einem Gehäuse

eingeschlossenen Uhrwerke, welches durch den Schlüssel *c* aufgezogen wird und bei seinem Ablaufen zwei aufeinanderliegende kleine Walzen runddreht. Der von einer Rolle herkommende Magnesiumdraht wird bei *o* in das Gehäuse gesteckt, wo er zwischen die Walzen kommt und von diesen mit gleichförmiger Geschwindigkeit durch ein messingenes Röhrchen *p q* fortgeschoben wird. Die Oeffnung *q* dieses Röhrchens befindet sich im Brennpunkte eines versilberten Hohlspiegels, so dass, wenn der Draht *q* angezündet wird, alles von *q* ausgehende Licht nach vorn hin geworfen wird und durch Drehen der Lampe mittelst des Handgriffes *b* nach jeder beliebigen Richtung hin gerichtet werden kann.

Der verstellbare Windfang *R* dient dazu, die Geschwindigkeit des Uhrwerks nach Bedürfniss zu beschleunigen oder zu verzögern; ein Druck auf den Knopf *a* nach unten löst das Uhrwerk aus und setzt es in Bewegung, durch einen entgegengesetzten Druck wird es in Stillstand gesetzt.

Um die aus der Verbrennung des Magnesiums herrührende Magnesia rasch fortzuführen, stellt man wohl einen künstlichen Luftzug dadurch her, dass man die Vorderseite der Lampe durch eine Glasthür abschliesst, den dadurch gebildeten Raum zwischen dieser Thür und dem Reflector nach oben in einen Kamin ausgehen lässt und der äusseren atmosphärischen Luft durch eine untere Oeffnung freien Zutritt zu diesem Raume gestattet. Die Magnesiadämpfe entweichen dann rasch durch den Abzugskamin, und die Kammer, in welcher die Verbrennung vor sich geht, sowie der reflectirende Spiegel bleibt rein.

Das Magnesium spielt zwar eine nicht unwichtige Rolle in der Spectralanalyse, weshalb wir länger bei seinem Lichte verweilten; aber die Hitze, die bei seiner Verbrennung erzeugt wird, kann doch nicht zu der Verflüchtigung und dem Glühen der übrigen Stoffe benutzt werden, weil sein Licht das Glühen dieser letzteren vollständig überstrahlt. Unter solchen Umständen müssen wir uns nach einer möglichst lichtlosen Flamme von so bedeutender Hitze umsehen, dass sich darin wenigstens die meisten Metalle verflüchtigen lassen. Eine derartige Flamme liefert uns die Chemie in der Knallgasflamme.

8. Die Knallgasflamme.

Wir haben bereits gesehen, dass die Verbrennung des Wasserstoffs oder seine Verbindung mit dem Sauerstoff der Luft in dem Bunsen'schen Brenner eine bedeutende Hitze erzeugt. Aber die Verbrennung erfolgt dabei doch nur langsam und unvollständig; langsam, weil stets nur kleine Quantitäten des Wasserstoffs nach und nach zur Verbrennung kommen; unvollständig, weil die Gase nicht in einem richtigen Verhältnisse gemischt sind und der Stickstoff der Luft der Verbrennung hindernd entgegentritt. Wenn man dagegen das Wasserstoffgas vor dem Anzünden mit so viel reinem Sauerstoff mengt, als zur vollständigen Verbrennung des Wasserstoffs erforderlich ist (zwei Maasstheile Wasserstoff, ein Maasstheil Sauerstoff), so erhält man in diesem Gemenge das sogenannte Knallgas, welches angezündet mit einem furchtbaren Knall explodirt und zwar, wenn die Quantität des Gases nicht gar zu gering ist, mit Zer-

trümmerung der stärksten Gefässe. Die bei dieser Verbrennung auftretende Hitze ist die grösste, welche man auf chemischem Wege überhaupt hervorzubringen im Stande ist und sie bewirkt das Schmelzen von Körpern, die in den höchsten Hitzegraden unserer Oefen nicht die geringste Veränderung erleiden.

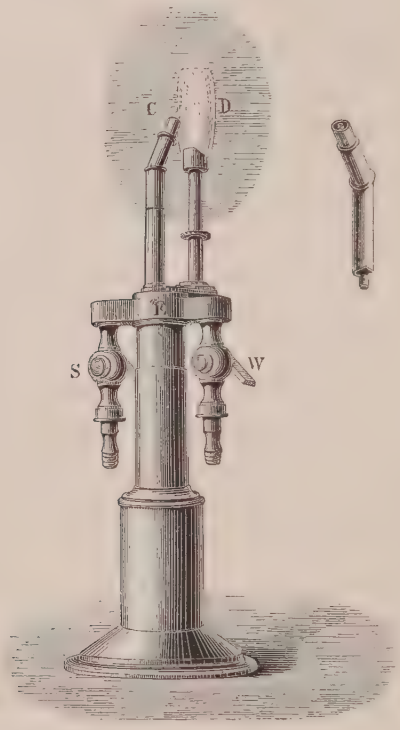
Will man diese intensive Hitze der Knallgasflamme nutzbar verwenden, ohne sich der grossen Gefahr einer Explosion auszusetzen, so darf man die genannten Gase nicht vor dem Versuche mengen oder aus einem gemeinschaftlichen Behälter ausströmen lassen, da sich sonst die Flamme beim Anzünden bis in das Innere dieses Behälters fortpflanzen und eine plötzliche Entzündung des gesammten Gasgemenges veranlassen würde. Man muss vielmehr die Einrichtung treffen, dass die Gase einzeln aus gesonderten Behältern in eine Ausströmungsröhre gelangen, in welcher sie sich erst unmittelbar vor der Mündung mischen können.

Die einfachste Vorrichtung dieser Art stimmt mit der in Fig. 4 abgebildeten Gasheizflamme überein, jedoch mit dem Unterschiede, dass die Querschnitte der beiden Röhren annähernd das Verhältniss wie 2 : 1 haben. Die äussere weitere Röhre wird mit dem Wasserstoff-, die innere engere Röhre mit dem Sauerstoffbehälter in Verbindung gesetzt; ausserdem befinden sich in beiden Röhren feine messingene Drahtnetzchen, welche ein Zurückschlagen der Flamme in das Innere der Röhren und weiter zu verhindern haben, wenn aus irgend welchen Gründen, z. B. durch Verminderung des Drucks in den Gasbehältern, die Gase aus einem Röhrchen in das andere gelangen sollten.

Eine sehr bequeme Einrichtung eines solchen Knall-

gasgebläses, auch wohl Hydrooxygengas-Lampe genannt, erhält man, wenn man das Brennrohr *C* (Fig. 6) mit seinen beiden den Sauerstoff und den Wasserstoff zuführenden

Fig. 6.



Hydrooxygengas-Lampe. (Drummond'sches Kalklicht.)

Rohrenden *S* und *W* auf einem Stativ befestigt, den oberen Theil *C* jenes Rohres seitwärts biegt und diese obere Hälfte so mit dem unteren Theile verbindet, dass sie sich nach allen Richtungen drehen lässt. Wenn man dann noch mit dem Stück *E* einen Träger verbindet, welcher sich dem

Brennrohr mehr oder weniger nähern lässt, und auf dessen Ende andere, zum Halten dienende Stücke, wie Tellerchen, Hülsen, Klemmen u. s. w., fest aufgesteckt werden können, endlich noch eine Schraube mit Zahnstange anbringt, um den ganzen oberen Theil *E* der Lampe auf- und abzuschieben, so hat man eine Lampe, welche sowohl zum Heizen wie zum Leuchten gebraucht werden kann und die wegen der Leichtigkeit der Handhabung nach vielen Richtungen hin eine praktische Anwendung findet.

Um die Knallgaslampe anzuzünden, öffnet man zuerst den Wasserstoffhahn *W* und lässt das aus dem Wasserstoffbehälter kommende Gas einige Secunden lang ausströmen, bevor man es entzündet, damit das ausströmende Gas die in dem verbindenden Gummischlauche noch enthaltene atmosphärische Luft mit sich fortreisse und entferne. Unter dem Druck der auf dem Gassacke liegenden Gewichte (hundert Pfund) brennt das entzündete Wasserstoffgas in einem langen, wenig leuchtenden Feuerstrahle fort. Jetzt erst öffnet man behutsam den Sauerstoffhahn *S*; man hört gewöhnlich den Eintritt des Sauerstoffs in die Wasserstoffflamme durch eine ganz leichte Explosion. Man öffnet nun den Hahn *S* langsam mehr und mehr, die Flamme wird immer kürzer und spitzer, ihr Leuchten hört beinahe ganz auf und man erhält alsbald, wenn man den Ueberschuss von Wasserstoffgas durch Drehen des Hahnes *W* beseitigt, die lichtlose, kleine, spitze Knallgasflamme.

Es würde uns von unserem Ziele zu weit entfernen, wenn wir die zum grossen Theil überraschenden Verbrennungsversuche der Reihe nach beschreiben wollten, welche man in den Hörsälen der Chemie mit der Knallgasflamme

zu machen pflegt; zwei derselben mögen genügen, um die gewaltige Hitze, welche die Flamme erzeugt, zur Anschauung zu bringen.

Wenn man einen dicken Draht von Platina, dem schwerflüssigsten Metall, in die Flamme hält, schmilzt er sofort ab wie Wachs. Taucht man ein Bündel von Stahldrähten hinein, so sprüht das Eisen in einem wahren Feuerregen, in Tausenden von weissglühenden Sternen umher, und grosse geschmolzene Tropfen des glühenden Metalls fallen von Zeit zu Zeit herab, um nach allen Richtungen hin auf dem Boden herumzufahren.

9. Das Drummond'sche Kalklicht.

Wir wollen nunmehr die Knallgasflamme zu einer Quelle des intensivsten Lichtes machen. Zu diesem Zwecke stecken wir auf die Hülse der Lampe einen Cylinder *D* von gebranntem Kalk und richten die Flamme gegen seinen oberen Theil; derselbe fängt sofort an zu glühen und wirft alsbald ein blendendes Licht von sich aus, welches den ganzen Saal erfüllt. Man bemerkt leicht, dass dieses Licht weit intensiver ist als das Magnesiumlicht und einen schwachen Stich ins Gelbliche hat, wogegen in letzterem mehr eine bläuliche Nuance hervorzutreten scheint.

Das Knallgaslicht, auch Hydrooxygengas- oder Oxhydriquelicht, oder nach seinem Erfinder Drummond'sches Kalklicht genannt, erhält noch eine erhöhte Intensität, wenn man statt des Kalkcylinders einen Magnesia- oder Zirkonstift zum Glühen bringt, wie sie in der neuesten

Zeit in Paris bei öffentlichen Beleuchtungen vielfach angewendet werden. Während der Kalkcylinder in der Knallgasflamme langsam verbrennt und daher nach und nach immer neue Flächen der Flamme entgegengedreht werden müssen, bleibt der Zirkonstift ungeachtet des heftigsten Glühens unverändert und nutzt sich nicht ab.

Da sowohl die Wärme als das Licht der Knallgasflamme von der Menge der verbrennenden Gase abhängt, so ist es schwer, für ihre Stärke bestimmte Zahlen zu gewinnen. Bei einer Lampe, bei welcher der Durchmesser des äusseren (Wasserstoff-) Rohres zehn Millimeter, des inneren (Sauerstoff-) Rohres fünf Millimeter beträgt, ist die Stärke des Kalklichtes mindestens so gross als das concentrirte Licht von hundertundachtzig Stearinkerzen; die Temperatur, bei welcher Platina schmilzt, ist circa 1470 Grad; die Hitze der Knallgasflamme aber schätzt man nach Bunsen bei gewöhnlichem Drucke auf 2800 Grad. Wie das Hydrooxygengas-, Kalk- oder Magnesiumlicht sowohl in gewissen Fällen zu öffentlichen Beleuchtungen grösserer Plätze und weiter Räume, als zu brillanten Schaustellungen in Theatern, zur Darstellung von Nebelbildern und zur Erleuchtung der Gasmikroskope vielfache Anwendung findet, so hat die lichtlose Knallgasflamme wegen ihrer ausserordentlichen Hitze, in welcher fast alle Körper verflüchtigt und leuchtend gemacht werden können, der Spectralanalyse die wesentlichsten Dienste geleistet.

Die Darstellung des Sauerstoffgases im Grossen ist in der neuesten Zeit bedeutend vereinfacht worden, und statt des reinen Wasserstoffgases kann man gewöhnliches Leuchtgas aus den Gasleitungen entnehmen. Alles dieses vereinigt

sich dazu, die Knallgasflamme zu einer ebenso billigen, als leicht und sicher zu handhabenden Quelle von ausserordentlich hohen Graden der Wärme und des Lichtes zu machen, die in den meisten Fällen hinreicht, um sowohl die physikalischen Principien, welche der Spectralanalyse zu Grunde liegen, als auch die wichtigeren Anwendungen derselben einem grossen Kreise von Zuhörern anschaulich darzustellen.

10. Der elektrische Funken.

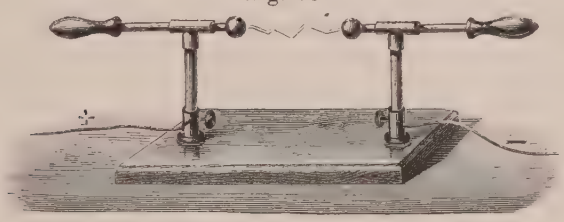
Handelt es sich aber darum, die höchsten Grade von Wärme und Licht zu erzeugen, welche wir überhaupt hervorzubringen im Stande sind, so müssen wir das Gebiet der Chemie mit ihren Verbrennungsprocessen verlassen und uns auf das der Elektricität begeben, wo uns eine Fülle von Erscheinungen entgegentritt, die von Wärme- und Lichtentwickelung der höchsten Art begleitet sind.

Wenn der elektrische Funken aus der Gewitterwolke zur Erde niederfährt, übergiesst er die Gegend ringsumher mit einem blendenden Lichte; auf seinem Wege zündet und schmelzt er die schwerflüssigsten Stoffe; in dem Blitze haben wir die höchste Wärme und das intensivste Licht, welches die Kräfte unserer Erde unter den gewöhnlichen Umständen zu erzeugen vermögen. Aber diese elektrischen Entladungen können wir uns nicht dienstbar machen; kaum dass wir im Stande sind, uns ihrem zerstörenden Einflusse zu entziehen und dem Blitze bestimmte Wege von der Wolke zur Erde vorzuschreiben. Unter solchen Umständen müssen wir uns auf diejenigen elektrischen

Funken beschränken, welche uns von den verschiedenartigen elektrischen Motoren, wie sie in den physikalischen Cabinetten vorkommen, geliefert werden.

Zu den allgemein bekannten älteren Elektrisirmaschinen, bei welchen die Elektricität durch Reiben einer Glasscheibe erregt wird, ist in der neueren Zeit unter dem Namen der Influenzmaschine eine Vorrichtung hinzugekommen, welche eine ungemein reiche Quelle elektrischer Entladungen und damit verbundener intensiv leuchtender elektrischer Funken in sich trägt. Bei allen elektrischen Motoren, welche den

Fig. 7.



Elektrische Funken.

Zweck haben, Licht oder Funken zu erzeugen, entstehen diese letzteren zwischen zwei metallischen Stäbchen oder Drahtstücken (Fig. 7), welche mit denjenigen Theilen der elektrischen Maschine in leitender Verbindung stehen, in denen sich die positive und die negative Elektricität ansammelt. Bei der gegenseitigen Anziehung dieser beiden Elektricitäten und dem Bestreben nach Vereinigung entsteht an den Enden dieser Metallstäbchen, wenn sie von einander getrennt sind, eine Spannung der Elektricitäten; wird diese so stark, dass dadurch der Widerstand der dazwischen befindlichen Luftschicht überwunden wird, so vereinigen sich die Elektricitäten plötzlich zwischen den

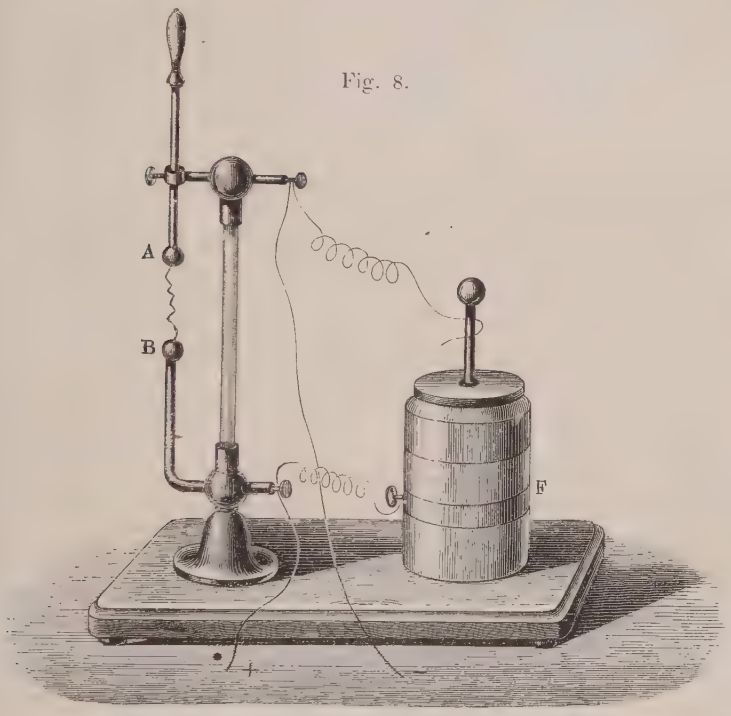
metallischen Leitern, und diese Vereinigung geht unter der Erscheinung von Licht und Wärme, des sogenannten elektrischen Funkens vor sich.

Die Wärme, welche der elektrische Funken erzeugt, hängt ab von dem Grade der elektrischen Spannung und der Menge der Elektricität, durch deren Vereinigung er zu Stande kommt; aber in den meisten Fällen ist sie so gross, dass kleine Theilchen der Metallenden, zwischen denen er überspringt, verflüchtigt werden und ins Glühen gerathen. Die glühenden Metalltheilchen färben das Licht des elektrischen Funkens und daher erscheint der letztere in verschiedenem Lichte, je nach der Natur der Metalldrähte, zwischen denen er überspringt. Es ist hiermit ein sehr einfaches Mittel gegeben, um behufs einer spectralanalytischen Untersuchung die meisten Metalle und überhaupt diejenigen Stoffe zu verflüchtigen und leuchtend zu machen, welche die Elektricität zu leiten vermögen. Um denselben Zweck bei Flüssigkeiten zu erreichen, genügt es, das eine Metallstäbchen durch die zu untersuchende Flüssigkeit zu ersetzen und das andere so weit der Oberfläche der Flüssigkeit zu nähern, dass der elektrische Funken zwischen dem Metall und der Flüssigkeit überspringt. In der Hitze des Funkens verdampft ein kleiner Theil der Flüssigkeit und geräth mit dem Aufblitzen des Funkens ins Glühen.

Wenn der einfache Funken, wie ihn die genannten Maschinen liefern, nicht ausreicht und man höhere Grade der Wärme zu haben wünscht, schaltet man zwischen die beiden metallischen Entlader A, B noch einen Verstärkungsapparat, z. B. eine Leydener Flasche F, oder einen

Condensator, ein (Fig. 8); der Funken entsteht dabei zwischen A und B erst dann, wenn der Condensator sich geladen hat, und die dabei auftretende Wärme ist um so grösser, je mehr Elektricität durch die Entladung des Condensators zur Ausgleichung kommt.

Fig. 8.



Elektrische Funken, verstärkt durch einen Condensator.

Auch die Gase können durch den einfachen elektrischen Funken theilweise leuchtend gemacht werden, wenn man denselben durch Röhren hindurchschlagen lässt, die mit den zu untersuchenden Gasen gefüllt sind. Der Funken nimmt dann je nach der Natur des Gases eine

verschiedene Färbung an; im Wasserstoffgase erscheint er purpurroth, im Chlor grünlich, im Stickstoff violett, im Sauerstoff weiss; allein diese Methode empfiehlt sich im Allgemeinen nicht, weil die Wärme des Funkens nicht ausreicht, um im Zustande der gewöhnlichen Dichtigkeit eine grössere Menge Gas glühend zu machen; wir werden sogleich sehen, wie dieser Zweck durch Verdünnung des Gases sehr leicht erreicht wird.

11. Der Funken-Inductor.

Zu den stärksten Motoren der Elektricität gehören diejenigen Apparate, bei welchen ein verhältnissmässig schwacher galvanischer Strom dazu benutzt wird, um durch seine Einwirkung auf jedes Theilchen eines viele Tausend Fuss langen, dünnen und vollständig isolirten Drahtes elektrische Funken von solcher Ausdehnung und Spannung hervorzubringen, dass sie den wirklichen Blitzstrahlen an die Seite gesetzt werden können. Die kleineren Vorrichtungen dieser Art, wie sie in der medicinischen Praxis nicht selten Anwendung finden, sind unter dem Namen der Inductionsmaschinen bekannt. Die grösseren haben nach ihrem Erfinder den Namen der Ruhmkorff'schen Maschinen oder der Funken-Inductoren erhalten und werden gegenwärtig bei mässigen Dimensionen in einer Stärke construirt, dass ihre Funken eine Länge von zwanzig bis vierundzwanzig Zoll haben.

Wenn man auf einen langen Streifen von gummirtem Papier Kupferfeile streut und dieses Blatt, nachdem es trocken geworden, mit den Polen des Inductors in Ver-

bindung bringt, so springt der Funken von einem Kupfertheilchen auf das andere über und durchläuft die ganze Bahn der Kupferfeile mit einer solchen Geschwindigkeit, dass dem Auge die einzelnen, sehr nahe an einander liegenden Funken als ein einziger langer Blitzstrahl erscheinen. Man kann auf diese Weise Funken von zwölf bis sechzehn Fuss Länge bilden, die durch ihre Gestalt, ihren Glanz und ihr Geräusch die grösste Aehnlichkeit mit den wirklichen Blitzstrahlen haben.

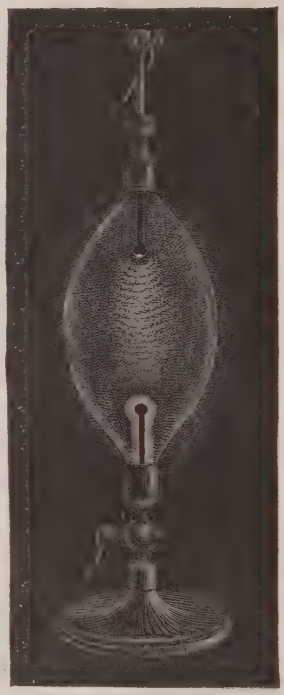
Für die meisten Zwecke der Spectralanalyse kann man sich eines Funken-Inductors von mittlerer Stärke bedienen; man lässt dann die Funken zwischen Platinspitzen überschlagen, weil dieses Metall der Hitze des elektrischen Funkens widersteht. Wenn der Apparat in Thätigkeit ist, springen zwischen den beiden Metallspitzen die Funken mit laut prasselndem Geräusche so rasch nach einander über, dass das Auge einen continuirlichen, intensiv leuchtenden Lichtstrahl zu sehen glaubt. Da der Funken-Inductor, einmal in Gang gesetzt, selbstthätig fortarbeitet, so ist er zur Verflüchtigung der Metalle und zum Glühen der Gase weit geeigneter, als die oben genannten Elektrisirmaschinen, die nur so lange in Wirksamkeit sind, als ihre Glasscheiben rund gedreht werden.

12. Glühen der Gase; die Geissler'schen Röhren.

Die Erfahrung hat längst gelehrt, dass verdünnte Gase die Elektricität gut leiten, während sie im Zustande einer grösseren Dichtigkeit ohne Ausnahme schlechte Leiter sind. Zur Zeit, als Bunsen und Kirchhoff die Spectralanalyse in

die Wissenschaft einführten, war es bekannt, dass in einem eiförmigen Glasgefässe (Fig. 9), in welchem mittelst einer gewöhnlichen Luftpumpe die Luft auf ein bis zwei Linien Druck verdünnt wird, die Elektricität zwischen den luftdicht in das Gefäss einmündenden Metallknöpfen in der Form eines leuchtenden Bogens mit der grössten Leichtigkeit übergeht, selbst wenn die Knöpfe acht bis zehn Zoll von einander abstehen. Dabei erscheint die Kugel und die Stange, an welcher die negative Elektricität eintritt, von einer bläulichen Lichthülle umgeben, während von der positiven Kugel ein Büschel violett-rothen Lichtes ausstrahlt.

Fig. 9.



Elektrisches Ei.

Wenn man vor der Verdünnung der Luft noch eine geringe Menge Dampf von gewissen Substanzen, z. B. von Alkohol, Phosphor, Terpentin, in das Glasgefäss eingelassen hat, so zeigt der Lichtbüschel sich nicht blos je nach der Natur dieser Dämpfe verschiedenartig gefärbt, sondern auch eine Reihe von dunkeln Streifen, welche ihn quer durchsetzen; das zwischen den Metallknöpfen sich ausbreitende Licht ist dann nicht mehr continuirlich, sondern schichtenweise durch dunkle Stellen unterbrochen.

Das Studium aller hierhin gehöriger Erscheinungen wurde bedeutend erleichtert und ausgebreitet, als Dr. Geissler in Bonn durch eine neue Methode der Luftverdünnung es dahin brachte, luftleere Glasröhren herzustellen, in welchen die zu untersuchenden Gase in einem Zustande starker Verdünnung eingeschlossen waren, und die vermittelst zweier, an den Enden der Röhren eingeschmolzener Platinadrähte mit den Polen eines Funken-Inductors in Verbindung gebracht werden konnten.

Fig 10.

Geissler'sche Röhre.

Je nach der Form und der Beschaffenheit des Glases, aus welchem die einzelnen Theile einer solchen Röhre zusammengesetzt sind, insbesondere aber nach der Natur und dem Grade der Verdünnung des darin eingeschlossenen Gases, sind die Erscheinungen derselben, wenn die Platinadrähte mit dem Inductor in Verbindung gesetzt werden und die hindurchströmende Elektricität das Gas glühend und leuchtend macht, sehr verschieden. Die Fig. 10 zeigt eine solche Geissler'sche Röhre zusammengesetzter Art; diejenigen Theile, welche mit verdünnter atmosphärischer Luft oder Stickstoff gefüllt sind, erglühen in einem schönen violett-röthlichen Lichte; Kohlensäure und die Kohlenwasserstoffe geben grünliche und weissliche Farbentöne; in den meisten Fällen

aber gewähren diese Röhren durch die abwechselnde Schichtung von dunkeln und leuchtenden Stellen, durch die Reinheit der Farben und die verschlungenen Formen, welche der geschickte Glasbläser den einzelnen Theilen der Röhre zu geben weiss, in dunkeln Räumen für das Auge einen herrlichen Anblick.

Die Geissler'schen Röhren geben uns ein bequemes Mittel an die Hand, um jedes beliebige Gas glühend zu machen; allein die Intensität des Lichtes, welches die in diesen Röhren eingeschlossenen Gase ausstrahlen, ist behufs einer spectralanalytischen Untersuchung meist zu gering, und es bedarf daher auch der Entfernung alles andern Lichtes, um das farbige Licht einer solchen Röhre deutlich wahrzunehmen. Professor Plücker zu Bonn concentrirte daher das schwache Licht solcher Röhren dadurch, dass er das verdünnte Gas auf einen sehr schmalen Raum zusammendrängte, und erreichte seinen Zweck vollständig, als er statt der weiteren Röhren sehr enge Capillarröhren nahm.

Nehmen wir eine Reihe dieser Plücker'schen Röhren zur Hand, die für die Zwecke der Spectralanalyse angefertigt sind. Die erste derselben sei so gut wie ganz luftleer, wenigstens betrage der Druck des darin etwa noch vorhandenen Gases weniger als $^1/_{20}$ Linie Quecksilber; die zweite Röhre (Fig. 11), wo der mittlere Theil *a b* das Capillarrohr ist, enthalte stark verdünntes Wasserstoffgas, die dritte Stickstoff, die folgenden Sauerstoff, Chlor, Kohlensäure, Spuren von Jod-, Schwefel-, Quecksilber-, Selen- u. s. w. Dämpfen Bringt man die einzelnen Röhren durch die in ihnen eingeschmolzenen Platina-

drähte mit den Polen des Funken-Inductors in Verbindung, damit die Elektricität zwischen den Platinadrähten A und B überströme und das eingeschlossene Gas glühend mache, so zeigt die erste Röhre keine Lichterscheinung, obgleich hier die Platinadrähte kaum eine halbe Linie von einander entfernt sind und die Funken des Apparates in der Luft sogar auf eine Entfernung von einigen Zoll überspringen. Es folgt hieraus, dass die Elektricität zu ihrer Fortpflanzung zwischen den Platinadrähten eines materiellen Trägers bedarf und in einem von Gasen und Dämpfen vollkommen freien, also absolut leeren Raume nicht zur Wirksamkeit kommen kann. In den folgenden Röhren aber tritt in dem mittleren sehr engen Theile $a\,b$ das Licht mit einer sehr bedeutenden Intensität als weithin sichtbare, scharf begrenzte Lichtlinie auf, welche zugleich die dem glühenden Gase entsprechende, sehr charakteristische Farbe deutlich hervortreten lässt. In diesen Röhren haben wir nunmehr ein Mittel, alle Gase und Dämpfe zum intensivsten Leuchten zu bringen; sie geben unter der Einwirkung der Elektricität eine feine, intensive, leuchtende Linie, die zur Beobachtung des Spectrums des eingeschlossenen Gases vorzüglich geeignet ist.

Fig. 11.

Geissler-Plücker'sche Röhre.

13. Der galvanische Flammenbogen; das elektrische Licht.

Es erübrigt nun noch, unsre Aufmerksamkeit auf kurze Zeit derjenigen Elektricitätsquelle zuzuwenden, welche die höchste Wärme und das intensivste Licht zu entwickeln vermag, dem galvanischen Flammenbogen oder dem elektrischen Kohlenlichte. Wenn man die beiden Pole *C*, *Z*

Fig. 12.

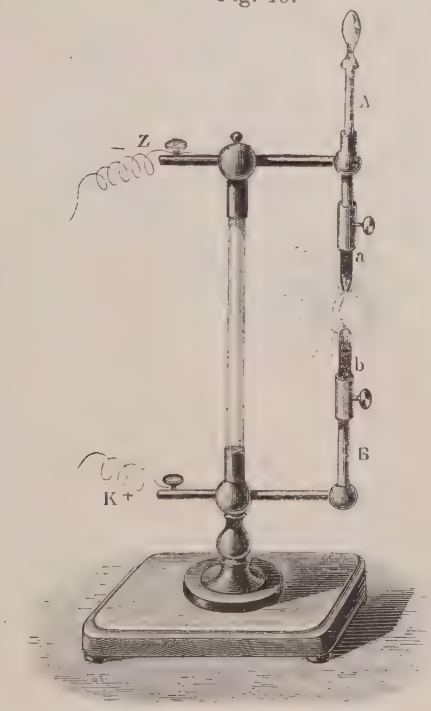
Die Bunsen'sche Batterie.

einer starken galvanischen Batterie, z. B. einer Bunsen'schen Batterie von fünfzig bis sechzig Elementen (Fig. 12) durch zwei Metalldrähte mit zwei Kohlenstäbchen *a*, *b* (Fig. 13) in Verbindung setzt, und diese Kohlenstäbchen mit einander in Berührung bringt, so strömt die in der Batterie entwickelte Elektricität zwischen den beiden Polen durch die Kohlen hindurch, weil diese die Elektricität fast ebenso gut leiten als das Metall. Endigen diese Stäbchen in Spitzen, so zeigt sich bei dem Durchgang der elektrischen Strömung an dem gemeinsamen Berührungspunkte

Robert Wilhelm Bunsen.

ein äusserst intensives Licht, und man kann nun die Kohlenstäbchen langsam auf mehrere Linien von einander entfernen, ohne dass der elektrische Strom dadurch unterbrochen wird.

Fig. 13.



Elektrisches Licht.

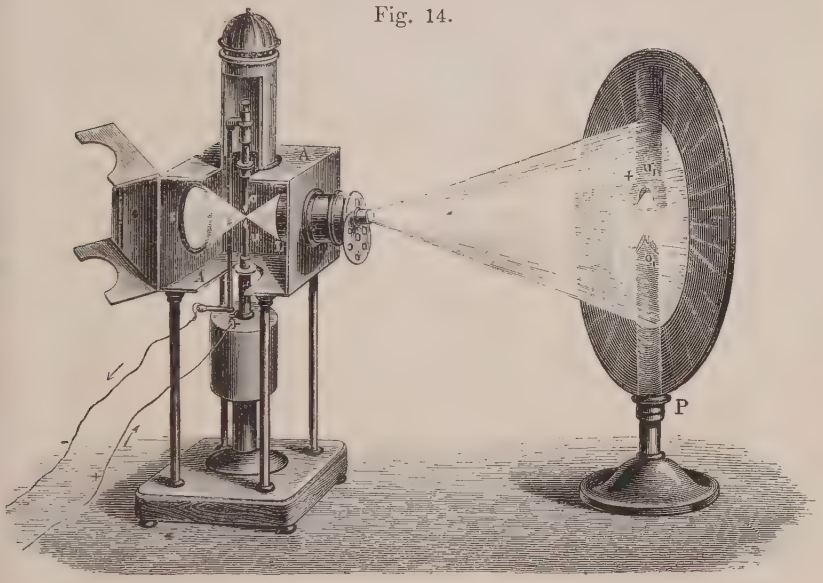
Verbindet man die von den beiden Polen der Batterie kommenden Kupferdrähte *K*, *Z* mit den Metallstäbchen *A*, *B*, in denen die Kohlenspitzen *a*, *b* eingesetzt sind, so kann, so lange sich die letzteren nicht berühren, der elektrische Strom die zwischen ihnen befindliche Luftschicht

nicht durchbrechen, wie es mit Leichtigkeit geschieht, wenn die Elektricität unter hoher Spannung aus einer Elektrisirmaschine oder einem Funken-Inductor herbeiströmt. Bringt man dann durch Herabschieben der oberen Metallstange A, welche die negative Kohle trägt, die beiden Kohlenspitzen mit einander in Berührung, so blitzt in dem Augenblicke des Contactes ein ungemein heller Lichtstern auf, der in dem Maasse, wie man die Kohlenstäbchen wieder auf einige Linien von einander entfernt, an Umfang und Lichtfülle bedeutend zunimmt und einen weiten Raum mit seinem Glanze erfüllt, dann aber, wenn man die Kohlenstäbchen noch weiter von einander entfernt, plötzlich wieder erlischt. Stellt man durch Vorschieben des beweglichen oberen Stabes A den Contact der beiden Kohlenstücke und das elektrische Licht wieder her, entfernt sie dann ein wenig von einander und überlässt die Vorrichtung sich selbst, so sieht man nach kurzer Zeit unter Anwendung eines Blendglases deutlich, dass die Entfernung zwischen den beiden Kohlenstäbchen immer grösser wird und in der Form der beiden Spitzen eine Veränderung vor sich geht; nach einiger Zeit erlischt das Licht von selbst, weil der Abstand der Kohlenstücke so gross geworden ist, dass die Elektricität die dazwischen befindliche Luftschicht nicht mehr überwinden kann.

Es ist nicht anzurathen, behufs einer näheren Untersuchung dem Auge den directen Anblick des elektrischen Lichtes zwischen den Kohlenspitzen zuzumuthen, und Blendgläser lassen die Einzelheiten dessen, was dabei vorgeht, nicht deutlich genug erkennen. Es empfiehlt sich daher, nach dem Vorgange von Le Roux unter Anwendung eines starken

Vergrösserungsglases ein Bild der glühenden Kohlen in bedeutend vergrössertem Maassstabe auf einem weissen Schirme darzustellen; man kann dann ohne Anstrengung des Auges die Erscheinung der glühenden Kohlen und des dazwischen befindlichen Flammenbogens aus der Ferne leicht wahrnehmen.

Fig. 14.



Projection des elektrischen Flammenbogens.

Zu diesem Zwecke muss der Saal vollständig dunkel gemacht werden; man stellt dann eine etwas anders gestaltete Vorrichtung zum Halten der Kohlenspitzen in die Laterne *A* (Fig. 14),* welche nach Art der Zauberlaterne

* Dieselbe erscheint in der Zeichnung seitlich geöffnet, um die Stellung der Kohlenspitzen *o*, *u*, der Glaslinse *L* und des Reflectors *s* sehen zu können; in der Wirklichkeit wird die Laterne nach Einsetzen der Kohlenhalter ganz geschlossen.

Fig. 15.

Die Kohlen des elektrischen Lichtes. (Stark vergrössert.)

vorn mit einer Glaslinse L von angemessener Brennweite, und hinten mit einem reflectirenden Hohlspiegel s versehen ist, setzt vor die Linse noch ein mit verschieden

grossen Löchern versehenes Diaphragma ein, in welchem man eine Oeffnung von mittlerer Grösse (anderthalb bis zwei Linien) auswählt, lässt den elektrischen Strom eintreten und schiebt die Linse hin und her, bis sich auf dem etwa zwölf Fuss von der Laterne entfernt stehenden weissen Papirschirme *P* das vergrösserte Bild der Kohlenspitzen in voller Schärfe darstellt. Hat man dieses Bild nun vor sich (Fig. 15), so kann man bei der mehr als hundertfachen Vergrösserung, bei welcher die Spitzen der Kohlenstäbchen in der Länge von sechs Fuss erscheinen, leicht die Veränderungen, die mit ihnen vorgehen, beobachten. Auf den ersten Blick bemerkt man, dass das intensivste Licht von den weissglühenden Kohlen ausstrahlt und der zwischen den Kohlenspitzen in der Luft hin- und herflackernde Lichtbogen, der sogenannte elektrische Flammenbogen, verhältnissmässig wenig leuchtet. Dabei zeigt sich auch, wie eine der beiden Kohlen anfängt, sich auf Kosten der anderen zu vergrössern; diejenige, welche am schnellsten ihre Spitze verliert und am meisten verzehrt wird, ist allemal die mit dem positiven Pole der Batterie (dem Kohlenpole) in Verbindung stehende. Von Zeit zu Zeit bemerkt man auf dem Schirme, wie sehr intensiv leuchtende Partikelchen von dieser positiven Kohle zu der andern überfliegen. Man gewahrt deutlich, dass auf der Oberfläche der Kohlen kleine Kügelchen kochend hin- und herlaufen; es sind dieses die Feinde des elektrischen Lichtes, Kügelchen von schmelzender Kieselerde, welche selbst in den gereinigten Kohlenstäbchen selten fehlen, durch ihre Bewegung dem Lichtbogen eine gewisse Unbeständigkeit geben und, da sie nicht glühen, der Intensität des Kohlen-

lichtes bedeutend Abbruch thun. Gerathen diese Theilchen bei ihrer unruhigen Bewegung auf den heissesten Theil der Kohlenstäbchen, wo mit der Weissgluth zugleich das stärkste Licht entwickelt wird, so giebt sich ihre lebhafte Bewegung durch ein Zischen, aber leider auch durch eine plötzliche Abnahme des Lichtes zu erkennen.

Wenn die Enden der Kohlen sich so weit von einander entfernt haben, dass der galvanische Strom grosse Mühe hat, auf dem Wege der glühenden Kohlenpartikelchen durch die Luft von einer Kohle zur andern zu gelangen, so nimmt die Stärke des Stromes rasch ab und in demselben Maasse fängt das Licht an zu erbleichen. Alsbald erlischt dasselbe von selbst, weil sich der galvanische Strom bei der Entfernung von ungefähr sechs Linien, welche die Kohlenenden dann von einander haben, zwischen diesen keine Brücke mehr aus glühenden Kohlenpartikelchen bilden kann.

Man sieht hieraus, dass das elektrische Kohlenlicht zwar ungemein intensiv, aber auch zugleich sehr unbeständig ist, und dass es besonderer Vorrichtungen bedürfen wird, um den elektrischen Flammenbogen zu einer Quelle continuirlichen und gleichbleibenden Lichtes zu machen. Wenn dieses Licht zu optischen Zwecken verwandt, wenn es an die Stelle des Drummond'schen Kalklichtes oder des Sonnenlichtes gesetzt werden soll, um optische Bilder in vergrössertem Maassstabe auf einem Schirme darzustellen, oder irgend welche Erscheinungen vermittelst der optischen Projicirungs-Methode einer grossen Anzahl von Zuhörern anschaulich zu machen, so müssen jene Vorrichtungen noch der weiteren Anforderung entsprechen, dass die

Lichtquelle unverrückt an derselben Stelle bleibe, und die beiden Kohlenenden trotz ihrer Abnutzung und Verbrennung während der ganzen Dauer der Versuche dieselben Lagebeziehungen zu einander und zu den optischen Gläsern des Projectionsapparates behalten, welche man ihnen anfangs gegeben hat.

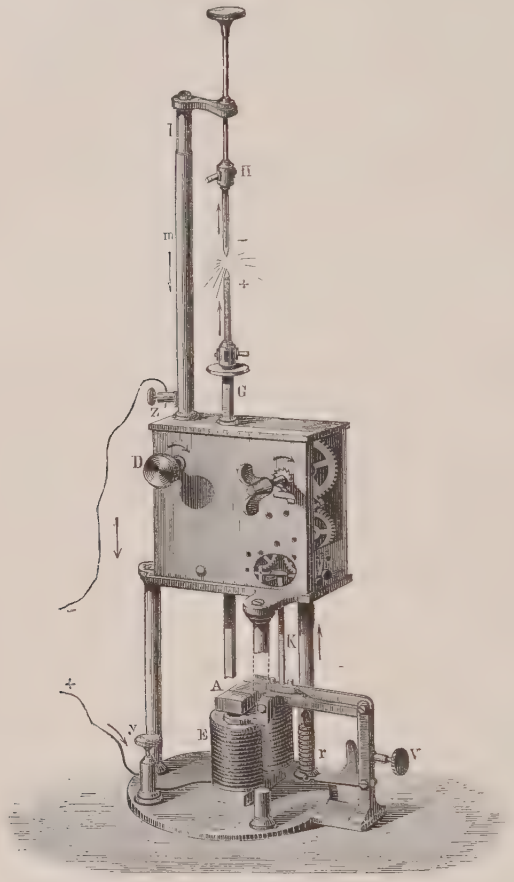
14. Der Regulator des elektrischen Lichtes.

Es ist dem Scharfsinne der Physiker und der Mechaniker gelungen, den grössten Theil dieser Schwierigkeiten zu überwinden, und Regulatoren des elektrischen Lichtes zu construiren, welche den Lichtpunkt zwischen den Kohlenstäbchen stundenlang unverrückt an derselben Stelle erhalten, wenn die angewandten Kohlen ganz rein sind und die Stärke der angewandten Batterie nicht sehr variirt. Aber alle diese Mechanismen, unter denen die beiden elektrischen Lampen von Foucault und Serrin den ersten Platz einnehmen, sind äusserst complicirt und erfordern, da ganz reine Kohle von ausreichender Härte nur sehr schwer zu haben ist, bei ihrer Handhabung für optische Darstellungen der beständigen Ueberwachung.

Die nach Foucault's Idee von Duboscq in Paris construirte elektrische Lampe (Fig. 15) ist ein Meisterwerk der Mechanik und in jeder Beziehung ganz geeignet, bei der Verbrennung der Metalle und der Darstellung der Spectra jeder Art die wesentlichsten Dienste zu leisten. Es würde uns zu weit führen, auf das Detail ihrer Räderwerke, ihrer Zahnstangen, Federn und Schrauben näher einzugehen; die eine Bemerkung möge hier genügen,

dass es der galvanische Strom selbst ist, der vermittelst seiner magnetischen Wirkungen in dieses Getriebe von

Fig. 16.



Regulator des elektrischen Lichtes von Foucault.

Rädern eingreift und den Gang des Werkes so regulirt, dass in dem Maasse, wie die Kohlenspitzen durch die

Verbrennung sich von einander entfernen, die beiden Kohlenhalter G und H wieder einander genähert werden.

Die beiden von der Batterie kommenden Poldrähte werden nämlich in zwei Klemmen y, z mit der Lampe in Verbindung gesetzt, und es sind deren Theile so angeordnet, dass der galvanische Strom nothwendig den Umwindungsdraht des Elektromagnets E durchlaufen muss, um zu den Kohlenhaltern G, H zu gelangen. Es ist nun leicht, vermittelst der Schraube V den Anker A dieses Elektromagnets und dessen Feder r so zu reguliren, dass derselbe grade dann angezogen bleibt, wenn der Abstand der Kohlenspitzen die richtige Grösse (zwei Millimeter oder circa eine Linie) hat. Durch diese Anziehung greift die Stange K in einen Theil des Räderwerkes ein und hält dasselbe still. Wenn nun in Folge der Verbrennung der Kohlen der Abstand der Spitzen grösser wird, so nimmt die Stromstärke ab und der in gleichem Maasse schwächer werdende Elektromagnet E lässt den Anker A los, bevor der Abstand der Kohlenspitzen so gross geworden ist, dass dadurch der Strom ganz unterbrochen würde. Die Zahnstange K geht durch diese Ankerbewegung etwas seitwärts und macht das Uhrwerk frei. Indem letzteres sich sofort in Bewegung setzt, schiebt es gleichzeitig die beiden Zahnstangen G und l, welche die Kohlenhalter G, H tragen und von denen sich l in einem Rohre m auf- und abbewegen lässt, in entgegengesetzten Richtungen auf einander zu und zwar derart, dass sich die eine, mit dem positiven Pol in Verbindung stehende Stange G etwa doppelt so schnell aufwärts bewegt, als die andere l herabgeht. Kaum haben die Kohlenspitzen sich wieder

genähert, so wächst auch die Stromstärke und die Kraft des Elektromagnets bis zur anfänglichen Stärke, der Anker *A* wird wieder angezogen und das Uhrwerk arretirt. Durch diesen Mechanismus können sich die Kohlenspitzen nie so weit von einander entfernen, dass dadurch ein Verlöschen des Lichtes entstände; die Abnutzung der Kohlen geht aber in demselben Verhältnisse vor sich, in welchem sich die beiden Kohlenhalter durch das Uhrwerk bewegen; die untere positive Kohle verkürzt sich in derselben Zeit doppelt so stark, als die obere negative, und daher wird durch den Mechanismus das Licht nicht blos andauernd, sondern auch unverrückt an einer und derselben Stelle erhalten. Vermittelst der Schraube *D* kann man ausserdem noch die Zahnstangen *G* und *l* unabhängig vom Räderwerke auf- und abbewegen, und durch eine auf der entgegengesetzten Seite befindliche dritte Schraube ist die obere Zahnstange *l* allein beweglich; auf diese Weise hat der Experimentirende es in der Hand, vor der Einführung des galvanischen Stromes in die Lampe, durch Einstellen der beiden Kohlenspitzen dem Lichtbogen diejenige Stelle in dem Projectionsapparate oder der Laterne anzuweisen, welche durch den Brennpunkt der Linsengläser bedingt ist. Die zweite Function des Uhrwerkes hat hauptsächlich zum Zwecke, die Kohlenspitzen, welche anfänglich sich bis zur völligen Berührung einander nähern müssen, ohne Zuthun des Experimentators wieder von einander zu entfernen, damit sich der Lichtbogen zwischen ihnen entwickeln kann und die Kohlen selbst in die höchste Weissgluth gerathen. Alles dieses kann nur dadurch geschehen, dass dieselben Zahnstangen *G*, *l*, die vorhin sich vorwärts bewegten, nun

rückwärts gehen, und derselbe aus zwei in einander greifenden Uhrwerken bestehende Mechanismus bald in dem einen, bald in dem entgegengesetzten Sinne wirke, eine Anforderung, die in Verbindung mit der soeben angedeuteten Regulirvorrichtung die elektrische Lampe zu einem der complicirtesten, aber auch der sinnreichsten und vollendetsten Apparate macht, welche die physikalische Technik aufzuweisen hat.

Die Lichtstärke und die Hitze des galvanischen Flammenbogens ist von mehreren Umständen abhängig, vor Allem aber von der Menge der entwickelten Elektricität oder der Anzahl und der Beschaffenheit der angewandten galvanischen Elemente und von der Reinheit der Kohlenstäbchen. Bei einer Batterie von fünfzig bis sechzig Bunsen'schen Elementen mittlerer Grösse variirt die Lichtstärke je nach der Entfernung der Kohlenspitzen und der Reinheit derselben zwischen dem Lichte von vierhundert bis tausend Stearinkerzen. Fizeau und Foucault haben das elektrische Licht und das Sonnenlicht in ihren chemischen Wirkungen auf jodirte Silberplatten mit einander verglichen und gefunden, dass das elektrische Licht aus einer Bunsen'schen Batterie von sechsundvierzig Elementen durch die Zahl 235 ausgedrückt wird, wenn man für das Sonnenlicht im August zur Mittagszeit die Zahl Tausend annimmt.

Das Licht einer Batterie von tausend Bunsen'schen Elementen kann schon sehr erhebliche Augenleiden hervorrufen; bei sechshundert Elementen aber genügt nach Despretz ein einziger Lichtschein in das ungeschützte Auge, um schwere Verletzungen desselben und lange andauernde

Kopfschmerzen zu erzeugen. Es ist daher sehr zu empfehlen, selbst bei der Anwendung von nur sechzig Elementen den freien Anblick des elektrischen Lichtes in der unmittelbarsten Nähe zu vermeiden, und während des Operirens mit demselben die Augen durch tief blaue Brillengläser zu schützen.

Wir sind jetzt im Besitze aller Licht- und Wärmequellen, deren wir zu einer vollständigen experimentalen Darstellung aller auf die Spectralanalyse der irdischen Stoffe und der Himmelskörper Bezug habenden Gesetze und Erscheinungen bedürfen. Wir werden uns je nach der Natur des Gegenstandes bald der Bunsen'schen Brenner, bald der Knallgasflamme und des Drummond'schen Lichtes, bald des Funken-Inductors und der Geissler-Plücker'schen Röhren, am meisten jedoch des elektrischen Flammenbogens bei unseren Darstellungen bedienen. Die spectralanalytischen Erscheinungen lassen sich einem kleinen Kreise von Zuhörern mit einfachen Hilfsmitteln anschaulich machen, insbesondere dann, wenn jeder Einzelne an den Experimentirtisch und die Apparate herantreten kann; ein zahlreich besetztes Auditorium aber, welches mehrere hundert Zuhörer umfasst, bedingt aussergewöhnliche Mittel der Demonstration und beansprucht den Aufwand des stärksten Lichtes und der höchsten Hitze, welche wir künstlich zu erzeugen im Stande sind.

Zweite Abtheilung.

Die einfachen und zusammengesetzten Spectra in ihrer Anwendung auf die Stoffe der Erde.

15. Das Licht.

Obgleich die Theorie des Lichtes gegenwärtig so vollständig ausgebildet ist, dass wir auch die verwickeltsten Erscheinungen desselben einfach und ungezwungen erklären können, so ist doch eine elementare Beantwortung der Frage nach der Natur des Lichtes mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Wir gewahren die Wirkungen dieser Naturkraft nach allen Richtungen hin auf die mannigfaltigste Weise; wir sehen, wie das Licht der Sonne, wenn sie in vollem Glanze am Himmel steht, nur einen einzigen Farbenton über die Erde ausgiesst, und gleichwohl die einzelnen Gegenstände der Landschaft in den prächtigsten Farben erscheinen. Was sind nun diese Farben? Wie entwickeln sie sich aus dem weissen Lichte, das die Sonne und die übrigen leuchtenden Körper ausstrahlen?

Wir dürfen uns dem Versuche, diese Fragen zu beantworten, nicht entziehen, wenn es uns gelingen soll, eine klare Anschauung von den Erscheinungen der Spectralanalyse zu geben; denn wir haben bereits erkannt, dass das eigentliche Feld dieser neuen Untersuchungsmethode die Welt der Farben ist.

Der Zugang zu den Wissenschaften ist meist mit seltsamen, anscheinend unlenksamen und abschreckenden Sätzen erschwert; sie erscheinen dem Uneingeweihten wie die Gespenster an dem Wege, auf dem Dante und sein göttlicher Führer zu der Unterwelt hinabstiegen; aber mit einigem Muthe durchschreitet man leicht diesen Gang, den ungefährliche Schreckbilder besetzt halten, und macht sich wohl noch mit dem einen oder dem andern näher befreundet, wenn man ihnen nur nahe genug gekommen ist.

So wollen wir denn die gestellten Fragen kühn anfassen; kann die Beantwortung derselben auch nicht erschöpfend sein, immerhin wird darin ein Material gegeben werden, welches zu weiterem Nachdenken anregt, vielleicht auch zum leichteren Verständnisse der in den physikalischen Lehrbüchern enthaltenen ausführlichen Theorien die nöthige Unterlage bietet.

Nach der gegenwärtig allgemein verbreiteten Annahme ist das ganze Weltall ein unermessliches Meer einer äusserst feinen, für unsere Sinne nicht wahrnehmbaren Materie, in welchem sich die Himmelskörper fast ohne Widerstand bewegen. Dieses Fluidum, welches man den Weltäther nennt, erfüllt den ganzen unermesslichen Raum, erfüllt sowohl die Zwischenräume zwischen den Himmelskörpern, als auch zwischen den Körperatomen, die sogenannten Poren.* Die kleinsten Theilchen dieser subtilen Materie sind in beständiger oscillatorischer oder schwingender Be-

* Die Hypothese, dass die atmosphärische Luft im Zustande der höchsten Verdünnung an die Stelle des Weltäthers zu setzen ist, steht noch zu vereinzelt da und ist zu wenig durch die optischen Erscheinungen unterstützt, als dass wir hier näher darauf eingehen könnten.

wegung; pflanzt sich diese Aetherbewegung bis zu der Netzhaut unseres Auges fort, so ruft sie unter Umständen, wenn der auf die Augennerven ausgeübte Reiz stark genug ist, den Eindruck dessen hervor, was wir Licht nennen.

Hiernach ist jeder Körper, der den Welt- oder Lichtäther in eine kräftige oscillatorische Bewegung versetzt, leuchtend; die starken Schwingungen des Aethers werden als intensives Licht, die schwachen als geringes Leuchten wahrgenommen, alle aber pflanzen sich von dem leuchtenden Körper aus mit der ungeheuren Geschwindigkeit von 42,000 Meilen in einer Secunde fort, wobei sie in dem Maasse, wie sie sich ausbreiten, an Stärke abnehmen.

Das Licht ist also nicht ein besonderer Stoff, sondern nur die schwingende Bewegung eines Stoffes, der unter gewissen Formen der Bewegung Licht, unter anderen Formen Wärme und wieder unter anderer Form Elektricität erzeugen kann.

16. Analogie zwischen Licht und Schall.

Es wird diese Vorstellung von der Natur des Lichtes sofort alles Befremdende verlieren, wenn wir die Schwingungen des Aethers mit denen der atmosphärischen Luft, das Licht mit dem Schall, das Auge mit dem Ohr vergleichen.

Eine schwingende Saite erregt in der umgebenden Luft Verdichtungen und Verdünnungen; vor sich her verdrängt sie die Luft und verdichtet sie; hinter sich lässt sie einen leeren Raum, in welchen die nachfolgende Luft einströmt und dabei für einen Augenblick verdünnt wird. Diese in regelmässigen Perioden sich wiederholende Bewegung der

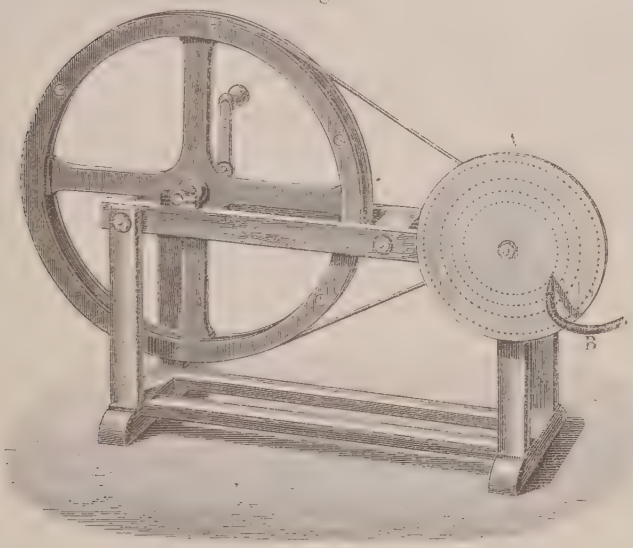
Luft pflanzt sich mit einer Geschwindigkeit von etwa tausend Fuss in der Secunde bis zu unserem Ohre fort, stösst dort gegen das Trommelfell und verursacht durch die weitere Fortpflanzung auf die Gehörnerven und das Gehirn die Empfindung dessen, was wir Schall oder Ton nennen. Die bewegte Luft in ihrer Einwirkung auf das Gehörorgan ist die Ursache des Schalls; der bewegte Aether in seiner Einwirkung auf das Sehorgan ist die Ursache des Lichtes. Ohne Luft oder einen andern Stoff, der die schwingende Bewegung der Körper bis zu unserem Ohre fortpflanzen könnte, ist kein Schall, kein Ton möglich. Wie der tönende Körper keinen besonderen Gehörstoff aussendet, sondern nur die Bewegung der Luft verursacht, so sendet auch der leuchtende Körper keinen Lichtstoff aus, sondern er erschüttert nur den Aether und versetzt ihn in vibrirende Bewegung.

Ein Ton, im Gegensatze zu einem blossen Schall oder einem Geräusch entsteht nur dann, wenn die Impulse der Luft gegen das Ohr in regelmässiger Folge stattfinden: sind die Intervalle zwischen den einzelnen aufeinanderfolgenden Luftstössen nicht genau gleich, so vernimmt das Ohr bloss ein Zischen, ein Geräusch oder ein Sausen: ein Ton ist bedingt durch völlige Regelmässigkeit in der Aufeinanderfolge der Luftimpulse.

Die Höhe eines Tones hängt ab von der Anzahl der Luftstösse in einer bestimmten Zeit, z. B. in einer Secunde: hohe Töne sind Luftschwingungen von grosser Zahl, tiefe Töne solche von geringer Anzahl in einer Secunde. Wenn die Zahl der einfachen Luftstösse, die in einer Secunde das Ohr treffen, weniger als sechzehn und mehr als vierzig-

tausend beträgt, so vermag das Ohr keinen Ton mehr zu empfinden; im ersten Falle vernimmt dasselbe bloss ein unbestimmbares, tiefes Brummen oder es unterscheidet auch wohl die einzelnen Stösse gegen das Trommelfell und empfindet sie als einzelne Schläge; im letzteren Falle ist

Fig. 17.



Lochsirene.

der Eindruck ein scharfes, ebenfalls nicht mehr bestimmbares Schrillen oder Zischen. Die Grenze für die Empfindung eines Tones liegt zwischen sechzehn und vierzigtausend Stössen der Luft gegen das Ohr. Die Anzahl der Luftstösse, welche die gewöhnliche Normalstimmgabel in einer Secunde macht, ist im Jahre 1859 für die Temperatur von 15 Grad auf 435 festgesetzt worden.

Wir können uns von der Richtigkeit des Gesagten leicht auf folgende Weise überzeugen. Eine Scheibe *A*, Fig. 17, von Zink ist auf einer Achse befestigt, welche vermittelst eines Schnurlaufes durch ein grosses Rad in eine sehr schnelle Rotation versetzt werden kann. Die Scheibe ist mit acht concentrischen Reihen von Löchern versehen, von denen in der Figur nur vier gezeichnet sind; die einzelnen Löcher einer jeden Reihe sind gleich gross und in gleichen Abständen von einander angebracht, wogegen die Anzahl dieser Oeffnungen in jeder Reihe vom Mittelpunkte nach dem Umfange hin zunimmt.

Wenn die Scheibe durch Drehen mittelst des grossen Rades in eine gleichmässige Bewegung gekommen ist und zwar derart, dass letztere in jeder Secunde einmal rundgedreht wird, bläst man mit einem Glas- oder Bleiröhrchen *B* mit voller Kraft gegen eine der Lochreihen. Man hört dann einen Ton; bläst man gegen die nächst höhere Reihe, so wird der Ton höher; eine tiefere Lochreihe giebt dagegen einen tieferen Ton, und wenn man der Reihe nach von unten an alle Reihen anbläst, so hört man in voller Reinheit die Tonleiter einer ganzen Octave.

Der Apparat hat den Namen Sirene erhalten; ihre „Töne sind zwar nicht verlockend, und sie bedroht den Physiker nicht durch den verführerischen Reiz ihrer Stimme mit den Gefahren des Homerischen Helden," dagegen singt sie lautere Wahrheit, wenn man ihrem Gesange nur ein williges Ohr leiht.

Was ist es, das hier den Ton erzeugt? Die blosse Drehung der Scheibe giebt keinen Laut; erst das Blasen, die Bewegung der Luft erzeugt den Ton. Trifft beim

Umlaufe der Scheibe der Luftstrom auf eine Oeffnung, so dringt er hindurch, die Luft vor sich herschiebend und verdichtend; dieser Luftimpuls gelangt alsbald bis zum Ohre und stösst dort gegen das Trommelfell. Trifft dagegen gleich darauf der Luftstrom auf den festen Zwischenraum, der sich zwischen der angeblasenen und der nächsten Oeffnung befindet, so wird er unterbrochen. Hat die angeblasene Reihe 24 Oeffnungen, so erhält das Ohr bei jedem Umlaufe der Scheibe 24 Luftimpulse, und dreht sich die Scheibe in jeder Secunde 20 mal rund, so erhält das Ohr in jeder Secunde durch diese Lochreihe $20 \times 24 = 480$ Luftstösse in gleichen Intervällen. Die äusserste Reihe hat doppelt so viele Oeffnungen, als die innerste; sie liefert daher bei derselben Rotationsgeschwindigkeit in 1 Secunde $20 \times 48 = 960$ Luftstösse.

Das Ohr kann, wenn die secundliche Anzahl der Luftimpulse sechzehn übersteigt, die einzelnen Stösse nicht mehr von einander unterscheiden; die Eindrücke der aufeinander folgenden Impulse verfliessen dann für das Ohr in einander; einer schliesst sich an den andern ohne Unterbrechung an, und der Gesammteindruck wird zu einem continuirlichen Impulse, zu einem Tone.

Die Höhe des Tones wird, wie man hieraus sieht, ausschliesslich bedingt durch die Anzahl der in der Zeiteinheit erfolgenden Luftstösse, die Stärke desselben durch die Stärke der Impulse; bläst man kräftiger, so bleibt die Tonhöhe unverändert, der Ton wird nur durchdringender; wird aber gegen eine Reihe mit einer grösseren Anzahl von Löchern geblasen, so steigt der Ton in die Höhe und man hört bei der letzten Reihe mit der doppelten Anzahl

von Oeffnungen sehr deutlich die Octave desjenigen Tones, welchen die unterste Reihe angiebt.

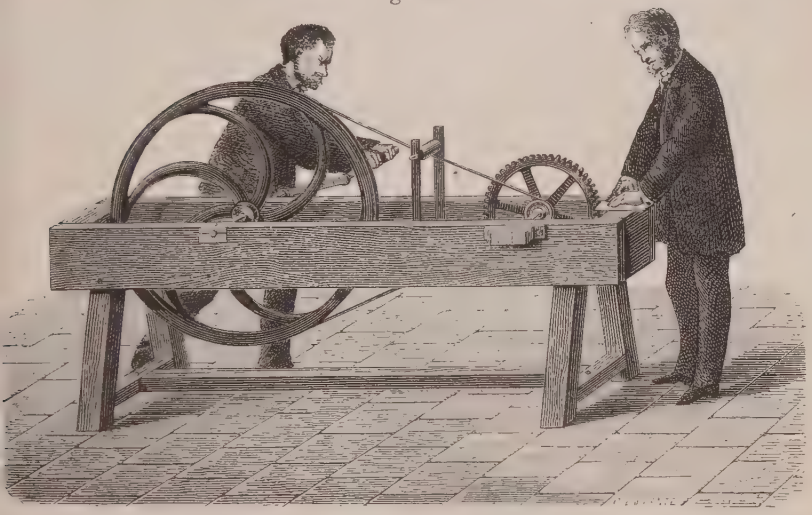
Die Entstehung des Tones ist zwar bei den verschiedenen musikalischen Instrumenten nicht dieselbe; bald sind es schwingende Saiten, bald elastische Zungen, bald gespannte Membrane oder begrenzte Luftsäulen, welche in regelmässigen Perioden eine Verdichtung und Verdünnung der Luft erzeugen; in allen Fällen aber kommt ein Ton nur durch die regelmässige, in gleichen Zeitabschnitten eintretende Wiederkehr gleichartiger, durch die Luft vermittelter Impulse gegen das Gehörorgan zu Stande.

Savart hat die Entstehung der Töne auf eine andere Weise zur Anschauung gebracht, die nicht minder instructiv ist, als die, welche wir so eben kennen gelernt haben. Statt der mit Löchern versehenen Scheibe nahm dieser Gelehrte ein mit sechshundert Zähnen versehenes Rad, welches in derselben Weise wie die Lochscheibe in sehr schnelle Rotation versetzt werden konnte und bei dieser Umdrehung mit seinen Zähnen über den Rand eines Kartenblattes vorüberstreifte. Um diesen Versuch zu wiederholen, braucht man nur ein solches Zahnrad an die Stelle der Lochscheibe in den Apparat einzusetzen, Fig. 18, und während dasselbe sehr schnell rundgedreht wird, ein elastisches Kartenblatt oder ein Stückchen Carton gegen seinen Umfang zu halten. Ein jeder Zahn biegt beim Vorübergehen die Karte etwas zurück, worauf dieselbe, wenn der Zahn passirt ist, wieder in ihre erste Lage zurückspringt; die Bewegung der Karte aber theilt sich der anstossenden Luft mit und gelangt bei gleichmässiger Drehung des Rades in der Form von Luftwellen oder von regelmässig

sich wiederholenden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft zu unserem Ohre.

Wenn das Rad sich langsam dreht, hört man nur eine Reihe von einzelnen Stössen oder von isolirten, noch deutlich von einander zu unterscheidenden Impulsen des Kartenblattes, die noch nicht zu einem Tone in einander fliessen.

Fig. 18.



Zahnrad von Savart.

In dem Maasse aber, als die Geschwindigkeit der Drehung wächst, vermehren sich die von dem Kartenblatte erzeugten Luftstösse und erzeugen Töne, deren Höhe mehr und mehr ansteigt. Ein kleines Zählwerk, in welches die Achse des Zahnrades eingreift, giebt die Anzahl der Umdrehungen an, welche das Rad in einer Secunde macht; multiplicirt man diese Zahl mit sechshundert, der Zahl der Zähne, so erhält man die Anzahl der Luftverdichtungen, welche in

einer Secunde das Ohr treffen. Auf diese Weise ist es leicht, die Zahl der in einer Secunde das Ohr erreichenden Luftschwingungen, welche einen Ton von bestimmter Höhe hervorrufen, zu bestimmen und so die Schwingungszahlen zu verificiren, welche man mit Hülfe der Löcherscheibe ermittelt hat.

Es wird nun schon leichter sein, die Bewegungen des Lichtäthers und seine Wirkung auf das Gesichtsorgan zu verstehen. Auch der Aether kann, wie die Luft, in regelmässige Erschütterungen versetzt werden und zwar derart, dass sich die Phasen der Verdichtung und der nachfolgenden Verdünnung in gleichen Zeitabschnitten regelmässig wiederholen. Der Unterschied zwischen den Schwingungen der Luft und des Aethers besteht nur darin, dass bei der ungemein grossen Feinheit und Elasticität des Aethers nicht bloss die Fortpflanzung der Aetherbewegung weit schneller erfolgt, als bei den groben und gewichtigen Lufttheilchen, sondern dass auch die Anzahl der in jeder Secunde erfolgenden Schwingungen ausserordentlich gross ist, so gross, dass wir sie nach Billionen zählen müssen.

17. Analogie zwischen Ton und Farbe.

Was für das Ohr die Töne sind, das sind für das Auge die Farben. Es ist eine gewisse Anzahl von Aetherimpulsen in der Secunde gegen die Netzhaut des Auges und weiter gegen das Gehirn erforderlich, um den Eindruck des Lichtes hervorzubringen; überschreitet diese secundliche Anzahl von Aetherwellen eine gewisse Grenze nach unten oder nach oben, so vermag das Auge dieselben nicht mehr als Licht zu empfinden.

Die erste Empfindung der Aethererschütterung seitens des Auges beginnt bei etwa 450 Billion Schwingungen in einer Secunde, und hört auf, wenn diese Zahl beinahe das Doppelte, etwa 800 Billion erreicht hat. Im ersteren Falle besteht die Empfindung des Auges in einem dunkeln Roth, im letzteren Falle in einem tiefen Violett.

Je grösser in einer bestimmten Zeit die Anzahl der Aetherschwingungen ist, desto schneller muss jede einzelne Schwingung erfolgen; man kann daher auch sagen, dass die verschiedenen Farben nur durch die Geschwindigkeit der Aetherschwingungen hervorgerufen werden, wie die verschiedenen Töne durch die Geschwindigkeit der Luftschwingungen bedingt sind. Die langsamsten Schwingungen, aber immer doch mindestens 450 Billion in der Secunde, geben Roth; schnellere erzeugen den Eindruck des Gelb; nimmt die Geschwindigkeit noch mehr zu, so empfindet das Auge nacheinander erst Grün, dann Blau, endlich Violett, mit welcher Farbe die Empfindlichkeit des menschlichen Auges für die Aetherbewegung aufhört, ohne dass dadurch der Geschwindigkeit der letzteren eine Grenze gesetzt wäre.

Die genannte Stufenleiter der Farben von Roth durch Gelb, Grün, Blau hindurch bis Violett ist also für das Auge, was für das Ohr die Tonleiter ist, und es geschieht nicht ohne Grund, wenn wir von Farbentönen und von Farbenharmonie sprechen. Dem Physiker sind die Worte Farbe und Ton nur verschiedene Ausdrucksweisen für einander ähnliche und durchaus verwandte Erscheinungen; beide sind die Wahrnehmung von regelmässigen, in gleichen Zeitintervallen wiederkehrenden Bewegungen: des Aethers

bei den Farben, der Luft bei den Tönen; im ersteren Falle vermittelst des Sehorgans, im letzeren Falle durch das Gehörorgan; von der allergrössten Schnelligkeit bei dem Aether, von mässiger Geschwindigkeit bei der Luft.

Wie ist es nun aber, wird man fragen, mit den Schwingungen des Aethers unter und über jene Grenzen, wo sie nicht mehr den Eindruck des Lichtes und der Farben auf das Auge machen? Verlaufen sie zwecklos und unbemerkt? Keineswegs; wir sind vollständig im Stande, in den Strahlen der Sonne und anderer intensiv leuchtender Körper Thätigkeiten nachzuweisen, welche nicht mit dem Auge empfunden werden können. Auch die Wärme ist das Resultat oscillatorischer Bewegung, und die strahlende Wärme, die sich wie das Licht ohne Vermittelung fremder Körper fortpflanzt, das Resultat solcher Aetherschwingungen, die zwar auch in der Secunde nach Billionen gezählt werden, aber sich doch noch nicht zu der Zahl von 450 Billion erhoben haben. Steigert sich dagegen die Geschwindigkeit der Aetherbewegung über jene Grenze hinaus, wo mit dem dunkeln Violett alle Empfindung für das Auge aufhört, so tritt ihre chemische Wirkung mit besonderer Stärke hervor; der Sehnerv empfindet dann die Impulse des Aethers nicht mehr, weil sie sich zu rasch folgen; aber sie wirken zersetzend auf gewisse Stoffe, und wir gewahren sehr deutlich, dass diese durch unsichtbare Strahlen verändert werden. Es ist indessen einem englischen Physiker gelungen, durch besondere Substanzen das zu rasche Tempo der Aetherschwingungen zu mässigen und damit die unsichtbaren, chemisch wirkenden Strahlen in den Bereich des Sehnervs zu bringen.

Dove schildert den Verlauf der Schwingungen, wie sie der Reihe nach Töne, Wärme und Licht erzeugen, in der ihm eigenen geistreichen Weise folgendermassen.

„In der Mitte eines grossen finstern Zimmers mag sich ein Stab befinden, der in Schwingungen versetzt ist, und es soll zugleich eine Vorrichtung vorhanden sein, die Geschwindigkeit dieser Schwingungen fortwährend zu vermehren. Ich trete in dieses Zimmer in dem Augenblicke, wo der Stab viermal schwingt. Weder Auge noch Ohr sagt mir etwas von dem Vorhandensein dieses Stabes, nur die Hand, welche seine Schläge fühlt, indem sie ihn berührt. Aber die Schwingungen werden schneller, sie erreichen die Zahl zweiunddreissig in der Secunde* und ein tiefer Basston schlägt an mein Ohr. Der Ton erhöht sich fortwährend, er durchläuft alle Mittelstufen bis zum höchsten schrillenden Ton; aber nun sinkt Alles in die vorige Grabesstille zurück. Noch voll Erstaunen über das, was ich hörte, fühle ich (bei zunehmender Geschwindigkeit des schwingenden Stabes) plötzlich von der Stelle her, an welcher der Ton verhallte, eine angenehme Wärme sich strahlend verbreiten, so behaglich, wie ein Kaminfeuer sie aussendet. Aber noch bleibt Alles dunkel. Doch die Schwingungen werden noch schneller; ein schwaches rothes Licht dämmert auf, es wird immer lebhafter, der Stab glüht roth, dann wird er gelb und durchläuft alle Farben, bis nach dem Violett Alles wieder in Nacht versinkt. So spricht die Natur nacheinander zu verschiedenen Sinnen,

* D. h. das Trommelfell wird in 1 Secunde 16 mal in den Kopf hineingedrückt und weicht 16 mal zurück; es erfolgen also 16 Stösse von aussen gegen das Ohr.

zuerst ein leises nur aus unmittelbarer Nähe vernehmliches Wort, dann ruft sie mir lauter aus immer weiterer Ferne zu, endlich erreicht mich auf den Schwingen des Lichtes ihre Stimme aus unmessbaren Weiten."

18. Die Brechung des Lichtes.

Das Licht bedarf zu seiner Fortpflanzung nicht, wie der Schall, einer wägbaren Materie; es kommt aus den weitesten Räumen des Himmels zu uns und es durchdringt die luftleeren Räume, die wir in unseren Cabinetten und Laboratorien darstellen, mit der grössten Leichtigkeit. Wenn aber das Licht durch eine Schicht Luft, Wasser oder Glas hindurchgeht, so wird ein Theil der Aetherbewegung scheinbar vernichtet, absorbirt, und zwar ist die Absorption des Lichtes um so grösser, eine je grössere Wegstrecke dasselbe durch diese Körper zurückzulegen hat. So sehen wir durch eine dünne Glasplatte die Gegenstände in voller Klarheit; durch ein dickes Glas erscheinen sie dagegen weniger deutlich, oft ganz unklar.

So lange das Licht durch ein vollkommen homogenes Medium hindurchgeht, welches allenthalben dieselbe Dichtigkeit besitzt, pflanzt es sich in einer geraden Linie fort. Ganz anders aber, wenn es von einem Medium in ein anderes von verschiedener Beschaffenheit übergeht, wenn z. B. ein Lichtstrahl, der durch die Luft kommt, auf die Oberfläche des Wassers oder auf eine Glasplatte trifft und dann durch diese dichteren Stoffe hindurchdringt. In solchen Fällen weicht der Lichtstrahl in dem Augenblicke von seinem geradlinigen Wege ab, wo er auf das

andere Medium trifft, mit alleiniger Ausnahme des Falles, wo er zu der Oberfläche, welche die beiden Medien trennt, senkrecht steht.

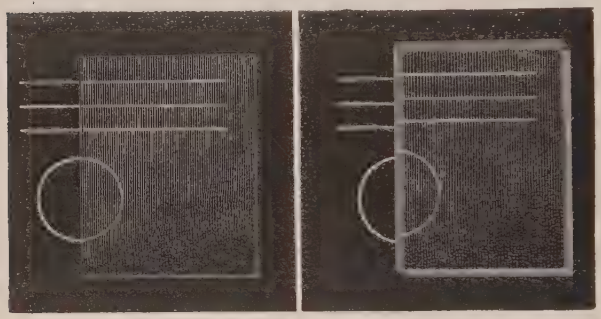
Man nennt diese Abweichung des Lichtstrahles von seinem geraden Wege die Brechung des Lichtes; sie tritt allemal dann ein, wenn das Licht in schiefer Richtung aus einem Medium in ein anderes übergeht, dessen Dichtigkeit oder sonstige Beschaffenheit von dem ersteren abweicht. Halten wir einen geraden Stock halb in der Luft, halb im Wasser, so scheint der im Wasser befindliche Theil nicht die gerade Fortsetzung von dem äusseren Stücke zu sein; der Stab erscheint an der Oberfläche des Wassers geknickt.

Die Gesetze der Lichtbrechung lassen sich mit strenger Consequenz und mit mathematischer Schärfe aus der vorhin entwickelten Theorie des Lichtes ableiten; aber es liegt nicht in unserem Zwecke, hierauf näher einzugehen. Einem Einwurfe aber müssen wir hier begegnen, zu welchem die alltäglichen Erscheinungen des Sehens gar leicht Veranlassung geben.

Wenn man durch die Fensterscheiben eines Zimmers ins Freie hinausblickt, so gehen die Lichtstrahlen offenbar von der Luft durch das Glas, bevor sie in das Auge gelangen; dennoch sieht man die äusseren Gegenstände nicht verzerrt oder gebrochen, wie es bei dem in dem Wasser gehaltenen Stabe der Fall ist; eine Brechung des Lichtes scheint also hier nicht vorhanden zu sein, obgleich dasselbe sich durch zwei Medien von ganz verschiedener Dichtigkeit fortgepflanzt hat. Es scheint bloss so; die Brechung des Lichtes ist hier in der That vorhanden, wenigstens für

alle die Theile, welche ausserhalb der auf der Glasscheibe senkrecht stehenden Sehlinie liegen. Dass man die Gegenstände trotz der Brechung der Lichtstrahlen unverzerrt sieht, hat seinen Grund darin, dass bei dem Durchgange des Lichtes durch ein Medium mit parallelen Wänden die einfallenden und austretenden Strahlen zwar nicht eine einzige gerade Linie bilden, aber doch parallel sind, und daher, da die Verschiebung der Strahlen überall gleich

Fig. 19.

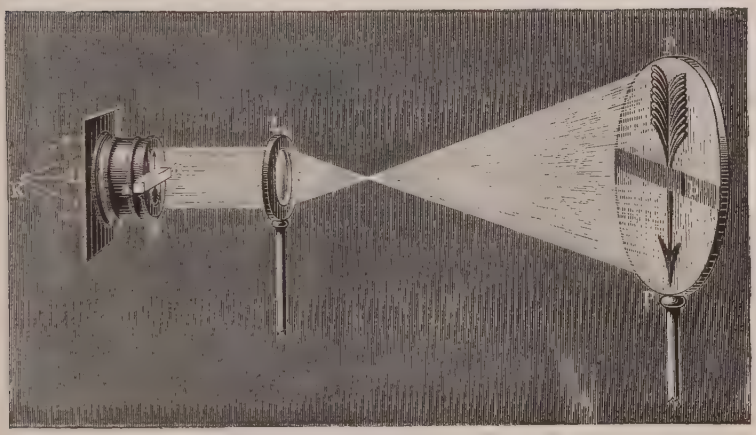


Brechung des Lichtes durch plan-parallele Gläser.

gross ist, die Gegenstände durch das Glas gesehen in denselben relativen Stellungen erscheinen, wie bei dem directen Anschauen ohne Glas. Dass aber die Bilder der sämmtlichen Gegenstände, durch die Fensterscheibe gesehen, wirklich verschoben sind und an anderen Orten erscheinen, als wo die Gegenstände in der Wirklichkeit sich befinden, das sieht man sofort, wenn man den einen Theil derselben direct durch die Luft, und den andern Theil durch eine Glasscheibe betrachtet. Da die Verschiebung nur sehr wenig beträgt, wenn das Glas dünn ist, so wird man, wenn

man den Versuch anstellen will, wohl thun, sich eines dickeren Glases zu bedienen und die Gegenstände jedenfalls in einer schrägen Richtung zu betrachten. Legt man z. B. ein dickes Glas, Fig. 19, derart auf eine beliebige Zeichnung, dass es dieselbe nur zur Hälfte bedeckt, und man einen Theil derselben durch die Luft, den andern

Fig. 20.



Objective Darstellung der Lichtbrechung.

durch das Glas ansehen kann, so gewahrt man, wenn man in etwas schiefer Richtung auf das Papier und das Glas hinblickt, die Verschiebung der durch das Glas gesehenen Theile sehr deutlich.

Die Richtigkeit des Gesagten lässt sich einem grossen Kreise von Zuhörern durch Anwendung des sehr intensiven Knallgaslichtes (I. S. 26) auf folgende Weise nachweisen. Wir stellen die Hydrooxygengaslampe in dieselbe Laterne,

deren wir uns zur objectiven Darstellung des elektrischen Kohlenlichtes bedient haben (I. Fig. 14). Die im Innern der Laterne befindliche Linse L (Fig. 20) macht zunächst die von dem glühenden Kalkcylinder K ausgehenden Lichtstrahlen parallel und in dieser Richtung dringen sie durch einen Ring R, in welchem ein messingener Pfeil eingespannt ist. Mittelst einer anderen Linse L, die wir in einiger Entfernung von der Laterne in gleicher Höhe mit dem Pfeil aufstellen, erzeugen wir von dem letzteren ein umgekehrtes vergrössertes Bild PP auf dem weissen Papierschirme, und erreichen es durch Verschieben der Linse sofort, dass das Bild des Pfeils vollkommen scharf ist.

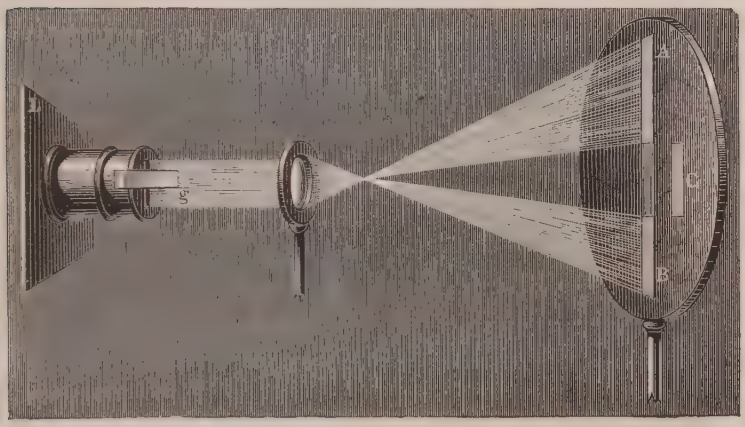
Wir halten dann einen parallelepipedischen Glasstab aa mit parallelen Wänden so gegen den Pfeil, dass die parallel durch den Ring hindurchgehenden Lichtstrahlen zu den Glaswänden senkrecht stehen. An dem Bilde des Pfeils selbst nimmt man keine Veränderung wahr; nur der Theil des Lichtes, wo sich der Glasstab neben dem Pfeil abzeichnet, erscheint etwas matter erleuchtet, als der übrige Theil des Papiers, was davon herrührt, dass der dicke Glasstab einen Theil des hindurchgehenden Lichtes absorbirt. Wir werden daraus schliessen, dass diejenigen Lichtstrahlen, welche senkrecht durch die Glaswände hindurchgegangen sind, von ihrer geradlinigen Richtung nicht abgelenkt werden.

Jetzt aber neigen wir den Glasstab gegen den Messingpfeil und halten ihn schief gegen denselben. Die Lichtstrahlen zwichen dem Pfeile und der Linse L gehen jetzt nicht mehr in gerader Richtung weiter; der Glasstab hat sie seitwärts geschoben, wie man das an dem entsprechen-

den Stücke des Pfeilbildes *b*, welches aus der Pfeilstange seitwärts gerückt erscheint, deutlich wahrnehmen kann.

Ganz dasselbe sieht man, wenn wir statt des undurchsichtigen Pfeils einen Ring vor die Laterne einschieben, in welchem sich ein vertikaler enger Spalt befindet. In Fig. 21 bezeichet *AB* auf dem Schirme das vergrösserte Bild des Spalts, eine lichthelle scharfe Linie. Halten wir

Fig. 21.



Projection des Spalts und der Ablenkung der Lichtstrahlen durch Brechung.

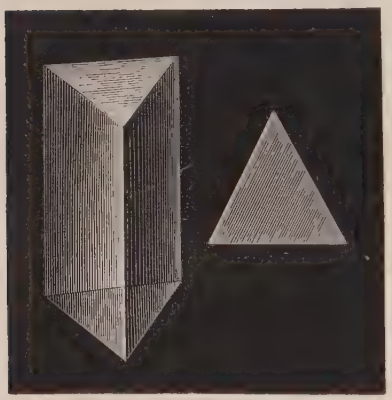
zuerst wieder den Glasstab *g* flach vor den Ring, damit die Lichtstrahlen, die durch den Spalt dringen, senkrecht zu den Glasflächen stehen, so zeigt sich bloss eine leichte Trübung an der entsprechenden Stelle *C* des Bildes, als Folge einer theilweisen Absorption des Lichtes durch das Glas. So wie wir aber das Glas gegen den Spalt neigen, verschiebt sich der entsprechende Theil des Bildes je nach der Neigung des Glasstabes nach rechts oder nach links, und das Bild des Spalts erscheint unterbrochen. Wenn

wir statt des etwa einen halben Zoll dicken Glasstabes einen doppelt so dicken Würfel von Glas nehmen und den Versuch wiederholen, zo zeigt sich sowohl die Absorption, als auch die Verschiebung des Lichtes bedeutend stärker als früher.

19. Die Brechung des Lichtes durch ein Prisma.

Wir gehen nunmehr über zu dem Falle, wo die beiden Grenzflächen, welche die ungleich dichten Medien, z. B. Luft und Glas, von einander trennen, nicht parallel sind, sondern einen Winkel mit einander bilden, wie es insbesondere dann eintritt, wenn eins dieser Medien, z. B. das Glas, die Gestalt eines dreiseitigen Prismas hat, Fig. 22. Um ein solches Prisma bei den Versuchen leicht handhaben und, ohne die Glaswände mit den Fingern zu bedecken, in allen Richtungen drehen zu können, stellt man es gewöhnlich, wie Fig. 23 zeigt, auf ein Messingstativ, so dass man die scharfen Kanten, mit welchen die Flächen aneinanderstossen, nach Belieben sowohl horizontal, als auch vertikal richten kann.

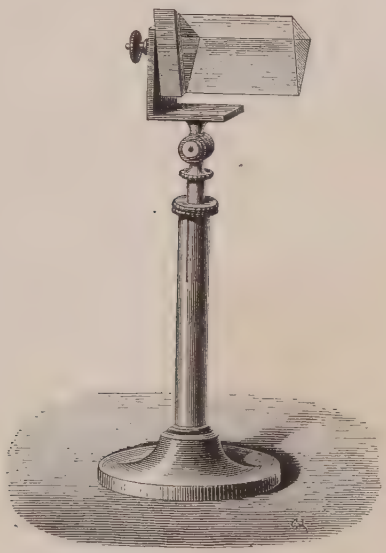
Fig. 22.



Prisma.

Wie die Rechnung lehrt und die Erfahrung bestätigt, besteht die Wirkung eines solchen Prismas auf einen Lichtstrahl, der durch dasselbe hindurchgeht, in allen Fällen darin, dass derselbe von seiner geradlinigen Richtung, in welcher er auf die Vorderfläche des Prismas einfällt, ab-

Fig. 23.

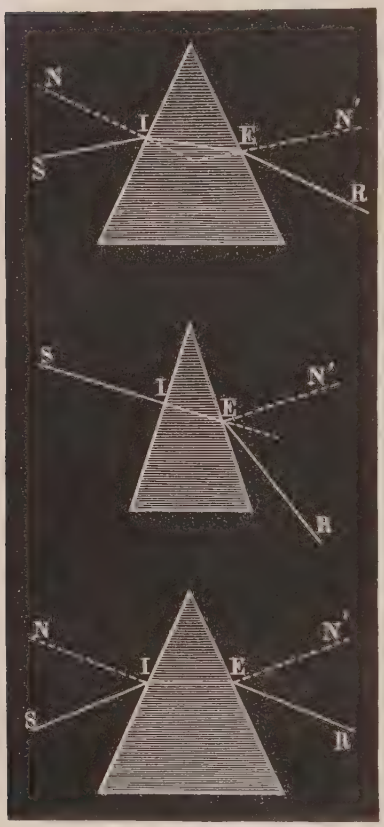


Drehbares Prisma auf Gestelle.

gelenkt wird, und zwar stets nach derjenigen Fläche (der Basis) hin, welche von ihm nicht getroffen wird. Die Fig. 24 wird dieses näher erläutern: der einfallende Strahl SI durchläuft nach der ersten Brechung in I das Prisma in der Richtung IE, wird beim Austritt bei E zum zweiten Male gebrochen und geht dann in der Richtung ER weiter. In allen drei Figuren sind die zu den Glasflächen senk-

cerht stehenden Linien IN und EN' punktirt gezeichnet; in dem dichteren Medium, dem Glase, wird der Lichtstrahl nach diesen Senkrechten hingelenkt, in dem dünneren Medium, der Luft, wird er davon weggelenkt, so dass der Winkel, den der Strahl mit diesen Senkrechten bildet, in der Luft stets grösser ist als im Glase. In der zweiten Figur geht der einfallende Strahl SI in der Richtung IE ungebrochen durch das Prisma, weil SI senkrecht steht zu der Prismenfläche; in der dritten Figur bilden der Einfallsstrahl SI und der Austrittsstrahl ER gleiche Winkel mit den Prismenflächen, ein Fall, in welchem die gesammte Ablenkung des austretenden Strahles ER von der Richtung des einfallenden Strahles IS am kleinsten ist.

Fig. 24.

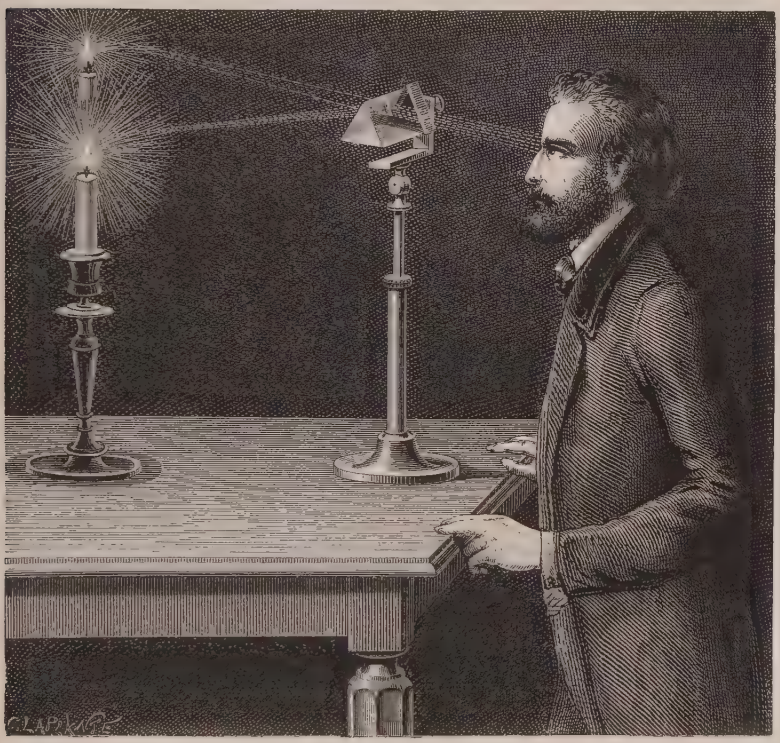


Brechung des Lichtstrahls durch das Prisma.

Wir sehen bekanntlich einen leuchtenden Punkt in derjenigen Richtung, in welcher die von ihm ausgehenden

Lichtstrahlen in das Auge dringen. Wenn daher die von einer Kerzenflamme, Fig. 25 ausgehenden Strahlen, bevor sie zu dem Auge gelangen, durch ein Prisma gehen müssen,

Fig. 25.



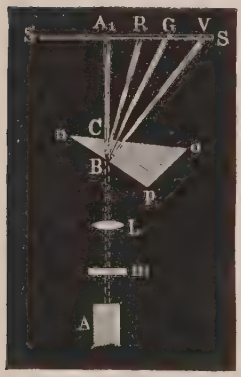
Sehen der Gegenstände durch ein Prisma.

oder zwischen das Kerzenlicht und das Auge ein Prisma geschoben wird, durch welches die Strahlen nach der Basis hin, also hier nach unten abgelenkt werden, so sieht das Auge die Flamme in der Richtung der austretenden Strahlen

an einer höheren Stelle, als wo sie sich wirklich befindet. Wenn man das Prisma umdreht, so dass die Basis nach oben gekehrt ist, so werden die Lichtstrahlen nach oben hin abgelenkt, und das Auge, das diese Strahlen empfängt, sieht die Flamme an einer tieferen Stelle.

Wir können die wichtigste Erscheinung, welche sich beim Durchgange des Lichtes durch ein Prisma zeigt, leicht auf folgende Weise anschaulich machen. Auf den Kopf der Laterne setzen wir zunächst ein Diaphragma, in dessen Mittelpunkt eine etwa zwei Linien weite kreisrunde Oeffnung A, Fig. 26, angebracht ist. Bedecken wir dann diese Oeffnung mit einem dünnen, durch Kupferoxyd roth gefärbten Glase m, so erscheint unter Anwendung einer Linse L der Oeffnung A gerade gegenüber auf dem Schirme S ein kleiner rother Kreis A_1, das optische Bild der Oeffnung A. Wenn wir nunmehr auf dem Wege zwischen L und A_1 ein Glasprisma npo in der Stellung, wie es die Fig. 26 andeutet, anbringen, so rückt der rothe Kreis von A_1 nach R. Das Licht, welches von A ausging und in der Richtung AB auf das Prisma fiel, ist also von seinem geradlinigen Wege AA_1 nicht unbedeutend abgewichen, und zwar so, dass der austretende Strahl CR sich von der Kante n der beiden brechenden Glasflächen entfernt, und sich der dieser Kante entgegengesetzten Fläche po, der Basis des Prisma, genähert hat.

Fig. 26.



Ablenkung verschiedenfarbiger Strahlen durch das Prisma.

Statt des rothen Lichtes nehmen wir dann durch Vorhalten eines grünen Glases grünes Licht. Der in der Nähe von C austretende Strahl trifft den Schirm nun nicht mehr in R, sondern an einer Stelle G, die der Basis po des Prismas noch näher liegt, als R, woraus wir schliessen, dass das grüne Licht von der geradlinigen Richtung noch mehr abgelenkt wird, als das rothe. Schliesslich setzen wir ein violettes Glas vor die Oeffnung; der violettblaue Lichtstrahl wird bei seinem Durchgange durch das Prisma noch mehr gebrochen, als der gelbe, denn er trifft den Schirm in V. Wenn wir Aehnliches wiederholen mit orange-, gelb-, blau- u. s. w. gefärbten Gläsern, so finden wir, dass der Ort des Bildes auf dem Schirme für jede Farbe ein anderer ist, dass das rothe Licht am wenigsten, das violette dagegen am meisten gebrochen wird, und dass die Brechbarkeit der verschiedenen Farben vom Roth, durch Orange, Gelb, Grün, Blau bis zum Violett fortwährend wächst.

Wir können nun schon im Voraus sagen, was geschehen wird, wenn wir einen Lichtstrahl, der mehrere Farben zugleich besitzt, durch ein Prisma hindurchgehen lassen. Schon im Prisma bei der ersten Brechung, mehr aber noch beim Austritt aus demselben trennen sich die einzelnen Farben; der eintretende Strahl wird in so viele einzelne Farben, als er in sich enthält, zerlegt, und jede einzelne Farbe verfolgt von dem ersten Eintritt des Lichtes in das Prisma an ihren besonderen Weg. Auf dem Schirme können wir alle gefärbten Strahlen von einander unterscheiden; sie gruppiren sich neben einander in der vorhin angegebenen Reihenfolge.

Aus diesen einfachen Versuchen ergiebt sich schon,

dass die Lichtstrahlen von verschiedener Farbe verschiedene Grade der Brechbarkeit besitzen; das rothe Licht wird bei der Brechung von der geraden Richtung nicht so stark abgelenkt, als das violette; ersteres hat also eine geringere Brechbarkeit als letzteres. Es ist dieses, wie die Undulationstheorie mit völliger Bestimmtheit nachweist, eine nothwendige Folge der ungleichen Geschwindigkeit der Aetherschwingungen, welche wir bereits als die Ursache der verschiedenen Farben erkannt haben. Im rothen Lichte ist die Anzahl der in einer Secunde das Auge treffenden Schwingungen etwa 450 Billion, im violetten 800 Billion; wie die hohen und die tiefen Töne sich in demselben Medium gleich schnell fortpflanzen, so haben auch die verschiedenen Farben eine gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Nehmen wir die letztere zu 42,000 geographischen Meilen oder 12165,120000 Zoll in der Secunde an, so ergiebt sich die Länge einer jeden Welle, d. h. der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Aetherverdichtungen, für das rothe Licht zu 0,0000270 Zoll und für das violette Licht zu 0,0000152 Zoll. Gehen nun verschiedenfarbige Lichtstrahlen von einem Medium in ein anderes über, z. B. von Luft in Glas, so erleiden die Strahlen von der kleineren Schrittlänge, also die violetten, unter dem veränderten Widerstande, den das Glas dem Durchgange des Lichtes entgegensetzt, eine stärkere Einwirkung und werden mehr gebrochen, als die von grösserer Wellenlänge, also mehr als die rothen, gelben, grünen und blauen Strahlen.

Da eine jede einzelne Farbe eine ihr allein zukommende Wellenlänge hat, so hat sie auch einen besondern Grad der Brechbarkeit, und daher muss ein Lichtstrahl

welcher aus mehreren farbigen Strahlen zusammengesetzt oder gemischt ist, bei der Brechung in die einzelnen Farben zerlegt werden, von denen eine jede in verschiedenem Grade abgelenkt oder gebrochen wird. Die Lichtstrahlen, welche vor der Brechung auf gemeinsamem Wege fortschreitend von dem Auge als ein Mischlicht in einer einzigen Farbe empfunden werden, separiren sich durch die Brechung nach dem Grade ihrer Brechbarkeit, gehen dann

Fig. 27.

Schwefelkohlenstoff-Prisma.

auf gesonderten Wegen weiter, und werden nun von dem Auge als einzelne Farben wahrgenommen.

Wenn ein einfarbiger, z. B. rother, Lichtstrahl durch ein Prisma geht, so ist die Grösse seiner Ablenkung nicht von der Geschwindigkeit der Aetherbewegung oder der Wellenlänge allein abhängig; es haben auch die Substanz des Prismas, sowie der Winkel, den die beiden von den einfallenden und den austretenden Strahlen getroffenen Prismenflächen mit einander bilden, darauf Einfluss. So ist unter fast gleichen Umständen die Brechung stärker bei einem Prisma aus Schwefelkohlenstoff als aus Glas,

und sie variirt sogar mit der Sorte des Glases, aus welcher das Prisma angefertigt wird. Bei der praktischen Anwendung der Spectralanalyse bedient man sich gewöhnlich der Prismen von Flintglas mit einem Winkel von fünfundvierzig oder sechzig Grad; wenn man sich aber des sehr stark brechenden Schwefelkohlenstoffes bedienen will, muss man ein Hohlprisma (Fig. 27) anwenden, dessen zwei brechende Flächen aus aufgekitteten Spiegelglasplatten bestehen, und welches vor dem Gebrauche mit Schwefelkohlenstoff gefüllt wird.

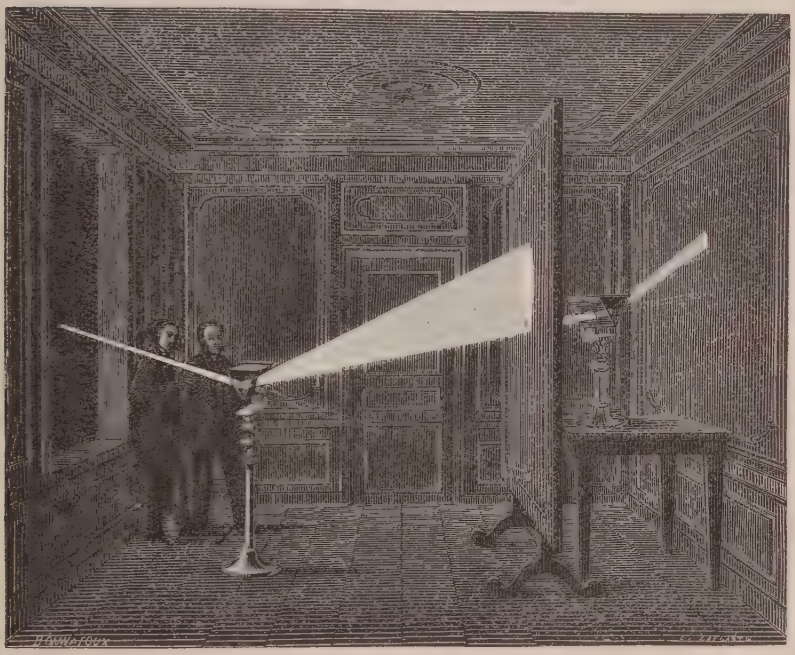
Es drängt sich uns nunmehr die Frage auf, welche Veränderung das nichtfarbige, d. h. das weisse Licht erleiden wird, wenn es durch ein Prisma hindurchgeht. Wir nennen bekanntlich dasjenige Licht rein weiss, welches uns bei dunstfreiem Himmel zur Mittagszeit die Sonne zusendet. Da jedoch dieses Licht nicht immer, am allerwenigsten bei öffentlichen Vorlesungen zur Verfügung steht, so wollen wir vorerst nur anführen, welches Ergebniss die prismatische Analyse des Sonnenlichtes liefert und dann angeben, in welcher Weise dieselben Versuche mit dem künstlich erzeugten weissen Lichte, dem Drummond'schen Kalklichte oder dem elektrischen Kohlenlichte angestellt werden können.

20. Das Sonnenspectrum.

Wenn man, wie die Fig. 28 zeigt, durch eine feine runde Oeffnung eines Fensterladens einen Sonnenstrahl in ein dunkles Zimmer fallen lässt, so zeigt sich, wenn der Strahl bloss durch die Luft des Zimmers geht, auf einem

der Oeffnung gegenüberstehenden weissen Papierschirme ein runder und weisser Lichtfleck genau in der Richtung des von der Sonne kommenden Lichtstrahls, wie es durch die punktirt gezeichneten Linien in der Figur angedeutet

Fig. 28.



Darstellung des Sonnenspectrums.

ist. Ganz anders gestaltet sich die Erscheinung, wenn man den Lichtstrahl auf ein Prisma fallen lässt. Der einfallende Strahl wird zunächst von seiner geradlinigen Richtung abgelenkt und zwar von der, in der Figur wagerecht angenommenen, nach unten gekehrten brechenden Kante ab nach der Basis des Prismas hin, d. h. aufwärts; dann aber

bleibt der Strahl nach seinem Austritte aus dem Prisma nicht mehr ein einzelner Strahl, wie er durch die Fensteröffnung einfiel, sondern er theilt sich in sehr viele einzelne farbige Strahlen, welche divergirend aus dem Prisma austreten und auf dem Schirme anstatt des früheren runden, weissen Sonnenbildchens einen glänzenden, langgestreckten, farbigen Lichtstreifen bilden. In diesem Farbenstreifen gehen die einzelnen Farben allmählich in einander über; an demjenigen Ende, welches der Richtung des einfallenden Strahles am nächsten steht (in der Figur am untersten Ende), erscheint die Farbe, welche die geringste Brechbarkeit besitzt, d. h. ein dunkles, ungemein schönes Roth; in unmerklichen Abstufungen geht dieses über in Orange; in gleicher Weise schliesst sich hieran ein hell leuchtendes Strohgelb, auf welches bald ein reines Grün folgt. Nach dem Grün zeigen sich bläulich grüne Nüancen, woran sich ein reines Blau, und in weiterer Entfernung ein prächtiges, tiefes Indigoblau anschliesst. Letztere Farbe geht endlich durch einen schwachen Purpurton hindurch in ein zartes Violett über, womit die Reihe der für das Auge sichtbaren Strahlen endigt. Ein schwaches Bild dieses überaus prächtigen, farbigen Sonnenbildes giebt Nro. 1 der farbigen Tafel; man nennt dasselbe Spectrum.* Das Auge unterscheidet in dem Spectrum der Sonne unzählige Abstufungen der vorhin genannten Farben, die ohne Unterbrechung in einander übergehen; aber unsere Sprache ist zu arm, um alle diese Farben namhaft zu machen und man muss sich damit begnügen, die sieben Hauptgruppen von Farben, die

* Von den darin vorkommenden dunkeln Linien kann erst in der dritten Abtheilung die Rede sein.

man Spectralfarben nennt, mit besonderem Namen zu bezeichnen.

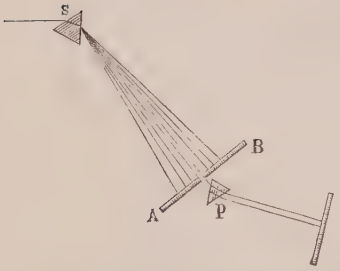
Aus diesem Versuche lässt sich zunächst schliessen, dass das weisse Licht nicht einfach, sondern aus unzählig vielen farbigen Strahlen zusammengesetzt ist, von denen ein jeder seine besondere Brechbarkeit besitzt und daher bei der Brechung seinen eigenen Weg geht. Das weisse Licht wird durch das Prisma analysirt; das Resultat dieser Analyse ist die Sonderung aller im weissen Lichte enthaltenen farbigen Strahlen und das daraus hervorgehende Farbenbild, das Spectrum.

Die Zerlegung des weissen Sonnenlichtes durch die Brechung giebt sich in einer Reihe von Erscheinungen zu erkennen, die den Alten ebenso gut bekannt waren, wie uns, wenngleich sie dieselben nicht auf ihre Ursache zurückzuführen wussten. Der Regenbogen mit seinen reinen, aber matten Farben; das Funkeln der geschliffenen Edelsteine in dem brillantesten Farbenfeuer; das Farbenspiel, welches die geschliffenen Gläser und die in prismatischen Facetten geformten Krystalltheile der Kronleuchter ausstrahlen, wenn sie vom Sonnenlichte getroffen werden; das Erglühen der höchsten Gebirgstheile und der Wolken in verschiedenfarbigem Lichte beim Aufgange und Untergange der Sonne; alles dieses hat seine Ursache in der Zerlegung des weissen Lichtes, welche eintritt, wenn es bei seinem Durchgange durch prismatisch geformte Gläser, Flüssigkeitstropfen oder Dunstbläschen gebrochen wird.

Die Farben, welche in dem Sonnenspectrum enthalten sind, besitzen eine vollendete Reinheit und einen Glanz, wie wir ihn bei keiner anderen Farbe antreffen; auch sind

diese Farben sämmtlich einfach und nicht weiter zerlegbar, wie man sich leicht überzeugt, wenn man einen beliebigen Lichtstrahl des Spectrums durch ein zweites Prisma zu analysiren versucht. Macht man nämlich in dem Schirm, der das Spectrum aufgefangen hat, an irgend einer Stelle des letzteren, z. B. im äussersten Roth (Fig. 28), eine feine runde Oeffnung, so geht ein rother Strahl durch diese Oeffnung hindurch und zeigt sich auf der gegenüberstehenden Wand als runder, rother Lichtkreis in der geraden Richtung desjenigen rothen Strahles, der aus dem jenseits des Schirms stehenden Prisma hervordringt. Wenn man aber dem durch den Schirm gehenden Strahl ein zweites Prisma entgegenstellt, so erleidet er eine zweite Brechung und sein Bild erscheint an einer anderen (in der Figur höheren Stelle) der Wand, als vorher; dieses neue Bild aber ist einfach roth, wie es der einfallende Strahl ist, und bei richtiger Einstellung des Prismas nicht langgestreckt, sondern rund. Fig. 29 zeigt diese Erscheinung für die mittlere Farbe des Spectrums. Das auf das Prisma s fallende zusammengesetzte Licht wird in ein farbiges Spectrum auf AB zerlegt; ein sehr schmales Bündel dieser farbigen Strahlen wird dagegen durch ein zweites Prisma p nicht mehr zerlegt, wohl aber abgelenkt. Dasselbe zeigt sich bei allen Farben des Spectrums ohne Ausnahme, woraus wir schliessen müssen, dass die durch das Prisma

Fig. 29.

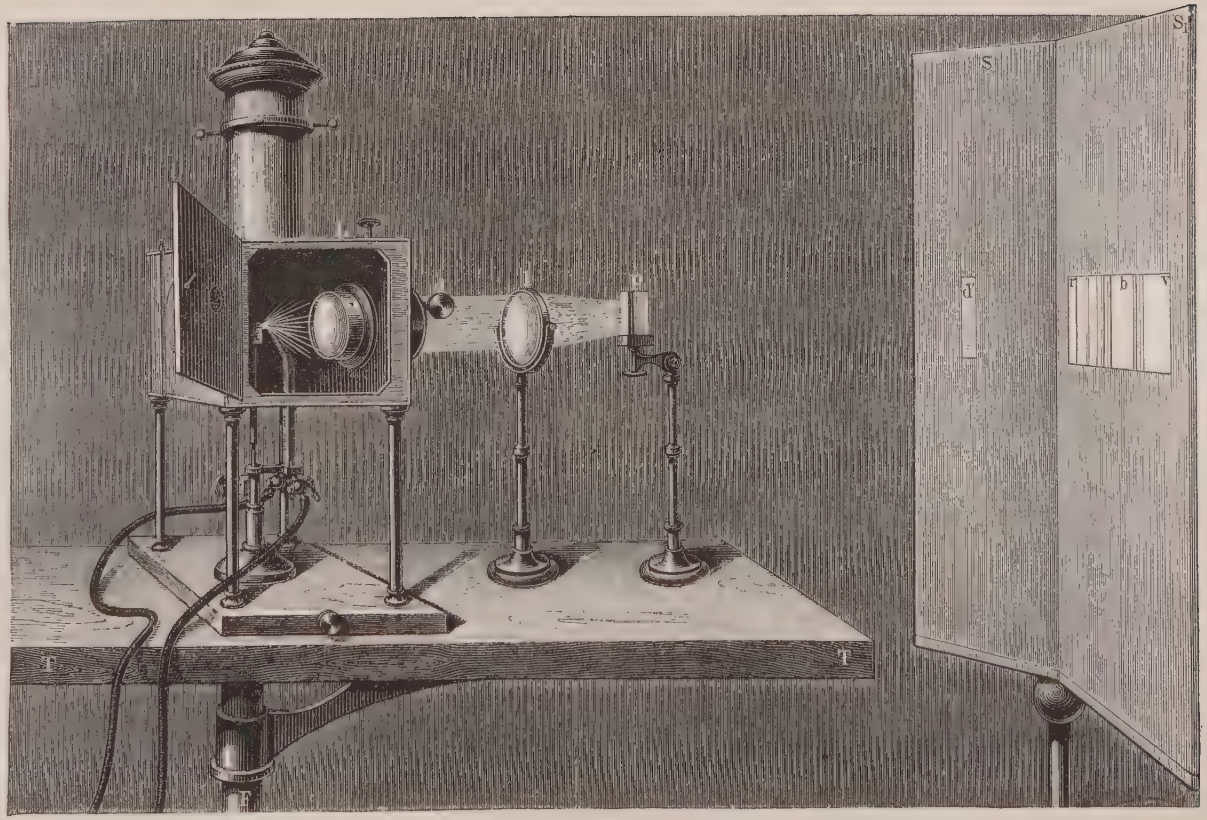


Unzerlegbarkeit der reinen Spectralfarben.

erzeugten, im reinen Spectrum enthaltenen Farben nicht weiter zerlegt werden können, also einfache (homogene) Farben sind.

21. Das Spectrum der festen und flüssigen glühenden Körper.

Will man anstatt des Sonnenlichtes das weisse Drummond'sche Kalklicht (I. S. 30) durch ein Prisma analysiren, so stellt man am zweckmässigsten die bereits beschriebene Laterne L (Fig. 30) auf eine um das Fussgestelle F drehbare, 5 Fuss lange und 16 Zoll breite Tischplatte TT, stellt die Kalklichtlampe hinein und schiebt in den vorderen Kopf derselben das Diaphragma d ein, welches mit einer Vorrichtung versehen ist, um das Licht aus der Laterne durch einen feinen Spalt austreten zu lassen. Dem Kopfe der Laterne gegenüber stellt man in einer Entfernung von etwa 12 bis 15 Fuss zwei unter einem stumpfen Winkel zu einander geneigte Papierschirme S,S_1 von acht Fuss Länge und Breite auf, bringt durch Anzünden des Knallgases den Kalkcylinder zum Weissglühen, macht den Saal vollständig dunkel und richtet die Tischplatte TT sammt dem Rohre d der Laterne senkrecht zu einem dieser Schirme (S). Nachdem dies geschehen ist, stellt man zwischen dem feinen Spalte d und dem Schirme S in der ungefähren Entfernung von 12 Zoll von dem Spalte eine doppelt convexe Linse l von 4 Zoll Durchmesser und circa 12 Zoll Brennweite so auf, dass sie von den durch den Spalt austretenden Lichtstrahlen senkrecht getroffen wird und auf dem Schirme S ein scharfes und vergrössertes



Projection des Kalklichtspectrums.

Bild d' des Spaltes d erzeugt. Dicht hinter diese Linse l stellt man nun ein $2^1/_2$ Zoll hohes und 2 Zoll breites Flintglasprisma p von 60 Grad in den Gang der aus der Linse l austretenden Lichtstrahlen,* und sofort erscheint auf dem zweiten Schirme S_1 ein prachtvolles, etwa 3 Fuss langes und 16 Zoll breites Spectrum mit der Stufenfolge der Farben, die wir bereits kennen gelernt haben (Farbige Tafel Nr. 1). Bei der grossen Entfernung des Schirmes weicht das Spectrum von der geradlinigen Richtung der nicht durch das Prisma gebrochenen Lichtstrahlen, die in d' zusammentreffen, sehr bedeutend ab; das Roth liegt jener geraden Richtung am nächsten, das Violett ist am weitesten davon entfernt; jenes wird also am wenigsten, dieses am meisten gebrochen, und in der Aufeinanderfolge der Farben erscheint nicht die geringste Unterbrechung. Die einzelnen Farben sind nicht scharf begrenzt, sie fliessen vielmehr ganz allmählich in einander über und bilden so ein ununterbrochenes, ein continuirliches Spectrum.

Da die Laterne L einem Theile der Zuhörer den Anblick des Spectrums auf dem Schirme S_1 erschwert, so dreht man die Tischplatte TT um den Fuss F, bis das Spectrum auf dem andern Schirme S erscheint. Anstatt den Tisch zu drehen, kann man auch die aus dem Prisma p austretenden farbigen Strahlen mit einem ebenen Handspiegel auffangen und durch Spiegelung auf den zweiten Schirm werfen; aber das Spectrum verliert durch die Re-

* Diese Stellung des Prismas ist die vortheilhafteste, weil dabei der Verlust an Licht am kleinsten ist; fast ebenso gut wird das Spectrum, wenn man das Prisma 11 bis 12 Zoll von der Linse entfernt stellt.

flexion an Intensität und das Spiegelbild ist stets schwächer, als das leuchtende Object. Man kann endlich den Tisch noch weiter drehen, bis das Prisma den Zuhörern zugekehrt ist, und kann dann mittelst des Spiegels die einzelnen farbigen Strahlen in jeder beliebigen Richtung durch den Saal werfen.

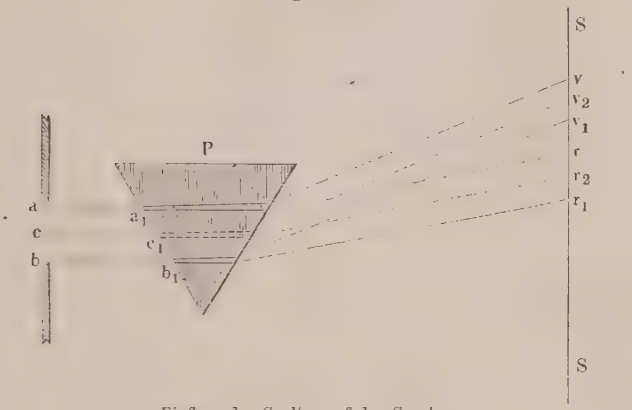
Um ein reines Spectrum zu erhalten, darf der Spalt die Breite von ungefähr $^1/_{16}$ Zoll nicht überschreiten; öffnet man denselben weiter, so nimmt das Spectrum an Glanz und Lichtstärke bedeutend zu, aber bei einiger Aufmerksamkeit wird man auch wahrnehmen, dass die Farben in der Mitte desselben nicht mehr so rein sind und sich nicht mehr so deutlich von einander unterscheiden, als es früher der Fall war, ja dass ganz in der Mitte sich das Licht entschieden dem Weiss nähert.

22. Einfluss der Spaltöffnung auf die Reinheit des Spectrums.

In der That wird das Spectrum des weissen Lichtes um so reiner und farbenreicher, je enger der Spalt ist; man wird sich hiervon durch folgende Ueberlegung leicht überzeugen. Der weisse Lichtstrahl aa_1 (Fig. 31), der von dem einen äussersten Ende a des Spaltes ab auf das Prisma p fällt, erzeugt für sich allein ein vollständiges Spectrum rv, welches zwischen r und v, oder Roth und Violett, alle Spectralfarben enthält. Ebenso erzeugt der von dem andern Ende b ausgehende weisse Lichtstrahl bb_1 für sich ein vollständiges Spectrum r_1v_1 mit allen Farben. Zwischen diesen beiden Enden a und b liegen nun noch

um so mehr lichtaussendende Punkte, je breiter der Spalt ist; fassen wir davon bloss den einen c ins Auge, so erzeugt der Lichtstrahl cc_1 zwischen den beiden äussersten Spectren rv und r_1v_1 wieder ein Spectrum r_2v_2, welches augenscheinlich zwischen r_2 und v_2 mit je einem Theile der beiden anderen Spectren zusammenfällt. Während wir in den Theilen vv_2, r_2r_1 Theile von reinen, den sehr feinen Einfallsstrahlen aa_1 und bb_1 entsprechenden Spectren haben,

Fig. 31.



Einfluss des Spaltes auf das Spectrum.

finden in dem Theile r_2r_2 des Gesammtspectrums vr_1 des ganzen Spaltes Ueberlagerungen verschiedenartiger Farben statt, die einzeln von einander nicht mehr unterschieden werden können und die auf das Auge den Eindruck einer Mischfarbe machen. Das Spectrum des durch einen breiten Spalt kommenden weissen Lichtes ist daher nur an den äussersten Enden, im Roth und im Violett, rein oder einfarbig; in der Mitte herrscht ein Mischlicht vor, welches aus allen möglichen Strahlengruppen zusammengesetzt sein

kann und daher bei dem Durchgange durch ein zweites Prisma abermals in seine Bestandtheile zerlegt wird.

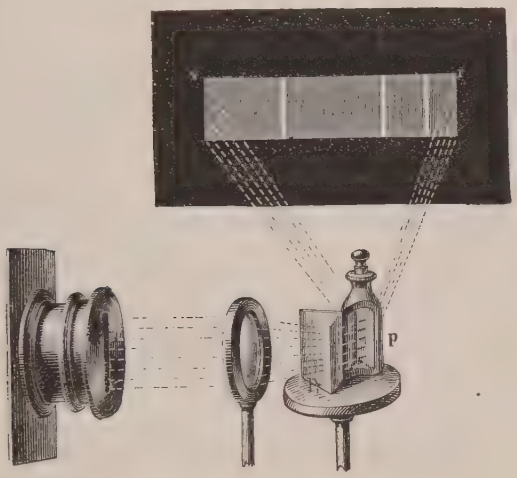
Bei der praktischen Anwendung der Spectralanalyse ist aus diesem Grunde der Spaltöffnung die grösste Aufmerksamkeit zu widmen; dieselbe darf in der Regel nicht grösser genommen werden, als es durch die Intensität des durch das Prisma zu analysirenden Lichtes geboten ist. Die Vorrichtungen, die zur Regulirung der Spaltöffnung angewandt werden, sind meist sehr einfacher Art; auf die Reinheit des Spectrums hat aber nicht bloss die Breite des Spaltes, sondern auch die Schärfe seiner Ränder grossen Einfluss. Es genügen einige Staubtheilchen, die sich an den Spaltwänden angesetzt haben, um das Spectrum der Länge nach mit einer Menge von dunkeln Strichen zu durchziehen, die den Beobachtungen sehr hinderlich sind.

23. Das Spectrum des elektrischen Kohlenlichtes.

In derselben Weise, wie wir das Spectrum des weissen Kalklichtes auf dem Schirme dargestellt haben, lässt sich auch das Spectrum des elektrischen Kohlenlichtes projiciren. An die Stelle der Hydrooxygengaslampe setzt man den bekannten elektrischen Regulator (I. S. 49) mit seinen zwei regulirbaren Kohlenspitzen, und verbindet denselben durch Kupferdrähte mit einer elektrischen Batterie von sechzig grossen Bunsen'schen Elementen. Sobald der elektrische Strom durch die Kohlenstäbchen geht, bildet sich der Flammenbogen und man sieht, wie das weisse Licht der glühenden Kohlen aus dem Spalte der Laterne hervordringt

und vermittelst der Linse *l* (Fig. 30) ein scharfes weisses Bild des Spaltes auf dem Schirme erzeugt. Stellt man nun wieder das Flintglasprisma *p* hinter die Linse in den Gang der Lichtstrahlen, so erscheint statt des weissen Spaltbildes seitwärts verschoben das wunderbar schöne Spectrum des elektrischen Lichtes. Oeffnet man den Spalt

Fig. 32.



Wirkung des Doppelprismas.

ein wenig mehr, so gewinnt das Spectrum an Lichtfülle, ja die Farben glänzen dann so hell, dass man immer noch ein brillantes Spectrum erwarten darf, selbst wenn sich dieselbe Lichtmenge auf die doppelte und dreifache Fläche vertheilen müsste. Wir wollen auf diesen Versuch etwas näher eingehen, weil man in der Praxis oft in die Lage kommt, ein weit ausgedehntes Spectrum zu erzeugen, um dessen Einzelheiten genauer untersuchen zu können.

Man setzt zu diesem Zwecke an die Stelle des Flintglasprismas ein Schwefelkohlenstoffprisma (Fig. 27); das Spectrum erscheint dann bei gleicher Breite erheblich länger, ja fast doppelt so lang als vorhin. Stellt man dann dicht vor das Schwefelkohlenstoffprisma p, Fig. 32, noch ein Flintglasprisma p_1 so auf, dass die aus p_1 austretenden Strahlen das zweite Prisma p in ähnlicher Weise treffen, wie die weissen Lichtstrahlen auf das erste Prisma einfallen (beide Prismen bilden einen Winkel von ungefähr hundert Grad miteinander), so erreicht das Spectrum eine Länge von acht Fuss und wird um mehr als neunzig Grad seitlich abgelenkt; freilich haben dabei seine Farben, obwohl noch sehr gut sichtbar und von einander zu unterscheiden, bedeutend an Glanz verloren. Eine Combination von zwei Schwefelkohlenstoffprismen würde das Spectrum noch weiter ausdehnen, aber zugleich seine Lichtstärke in demselben Maasse schwächen.

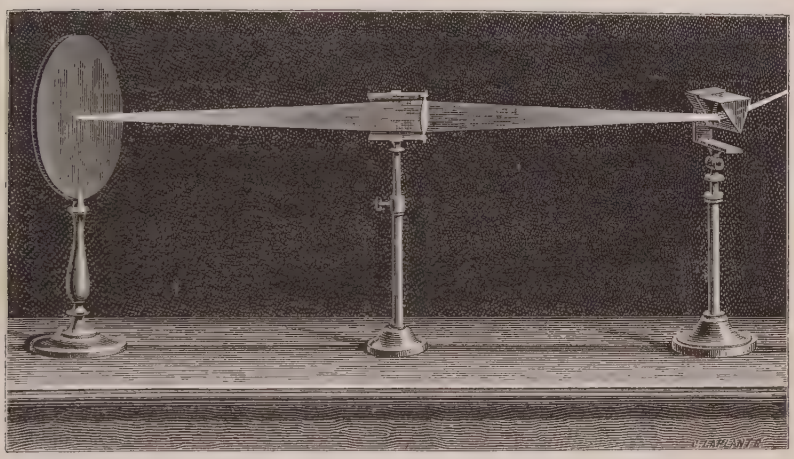
Für manche Untersuchungen wissenschaftlicher Art kommen nicht bloss zwei, sondern je nach der vorhandenen Lichtstärke sogar vier bis acht Prismen von fünfundvierzig und sechzig Grad zur Anwendung.

24. Wiedervereinigung der Spectralfarben zu Weiss.

Wenn wirklich das weisse Licht aus den in dem Spectrum enthaltenen Farben zusammengesetzt ist, so muss auch die Wiedervereinigung sämmtlicher Spectralfarben weisses Licht geben. Das einfachste Mittel, verschiedene Lichtstrahlen in einem Punkte zu vereinigen, ist die

convexe Linse oder das Brennglas. Wenn die Sonnenstrahlen in senkrechter Richtung auf ein solches Glas fallen, so werden sie beim Durchgange durch dasselbe so gebrochen, dass sie in einem Punkte, dem Brennpunkte, zusammentreffen. Will man in dieser Weise die farbigen Strahlen des Spectrums des elektrischen Lichtes vereinigen, so stellt man zwischen das Prisma und den Schirm, auf

Fig. 33.



Wiedervereinigung der Spectralfarben.

welchem das Spectrum der schmalen und sehr kurzen Lichtlinie etwa sechs Fuss weit ausgedehnt erscheint, ein Stück einer eigenthümlich geformten convexen Linse (Cylinderlinse), welche geeignet ist, die von jedem Punkte der Lichtlinie im Spalte ausgehenden Strahlen nach der Brechung durch das Prisma einzeln wieder in einem Punkte zu vereinigen und daher die Gesammtheit aller Strahlen jener kurzen Lichtlinie wieder als eine kleine Linie dar-

zustellen. So wie man diese Linse, Fig. 33, in richtiger Entfernung hinter das Prisma stellt, verschwinden die Farben des Spectrums, und statt des letzteren erblickt man auf dem Schirme eine in der Mitte weisse, an den Rändern noch schwach gefärbte, einige Zoll breite kurze Linie. Da sich dabei der grosse Schirm nicht in dem Brennpunkte der Linse befindet, so stellt man einen kleineren Schirm näher an die Linse; es erscheint dann auf diesem Schirme eine rein weisse sehr kleine Lichtlinie, in welcher sich alle aus dem Prisma hervortretenden farbigen Strahlen vereinigt haben und durch diese Vereinigung das weisse Licht, aus welchem sie entstanden sind, wieder zusammensetzen.

25. Das continuirliche Spectrum der festen und flüssigen Körper.

Wenn die Kohlenstäbchen, welche man zur Erzeugung des elektrischen Lichtes anwendet, besonders präparirt und von aller fremden Beimengung befreit worden sind, so ist das elektrische Licht ein rein weisses Licht, welches ausschliesslich von festen, glühenden Kohlentheilchen ausgesandt wird. Das Spectrum dieses Lichtes ist daher, wie das des festen, glühenden Kalkes, ein continuirliches, durch keinerlei Lücken oder schroffe Uebergänge in den Farben unterbrochen, und weder durch helle, noch durch dunkle Streifen durchzogen.

Alle anderen weissglühenden, festen oder flüssigen Körper geben ein ähnliches Spectrum, in welchem die Farben in derselben Reihenfolge, wie sie auf der farbigen

Tafel Nr. 1 erscheinen, vertheilt sind. Wenn man statt des Kalklichtes das Magnesiumlicht (Nr. 7), oder das Licht eines weissglühenden Platinadrahtes, oder einer Gasflamme, deren Licht von festen weissglühenden Kohlenpartikelchen ausgestrahlt wird, durch ein Prisma analysirt, so erhält man stets continuirliche Spectra, jedoch mit dem Unterschiede, dass in den einzelnen Spectren die verschiedenen Farbengruppen nicht in gleicher Ausdehnung vorkommen und je nach der Natur des angewandten Lichtes bald das Roth, bald das Gelb, bald das Violett vorherrscht. Nur in sehr seltenen Fällen werden von glühenden festen Substanzen einzelne bestimmte farbige Lichtarten vorzugsweise stark ausgestrahlt, wie es bei den sehr seltenen Stoffen, der Erbinerde und dem mit Phosphorsäure imprägnirten Didymoxyd, der Fall ist. Umgekehrt darf man daher auch schliessen, dass in der Regel da, wo ein continuirliches, lückenloses, alle Gattungen von Farben enthaltendes Spectrum erscheint, das Licht von einem glühenden festen oder flüssigen Körper ausgesandt wird.

26. Spectra der Dämpfe und Gase.

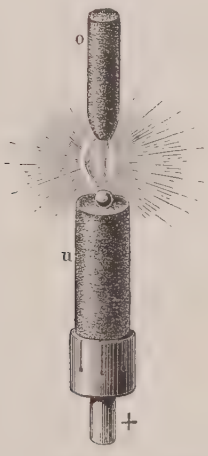
Ganz andere Spectra erhalten wir, wenn die Quelle des Lichtes nicht ein weissglühender fester oder flüssiger Körper, sondern glühender Dampf oder ein glühendes Gas ist. Statt der continuirlichen Aufeinanderfolge von Farben erhalten wir dann im Spectrum eine Reihe von hellen, glänzenden, farbigen Linien, welche durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt sind.

Da glühende Gase oder Dämpfe weit weniger Licht ausstrahlen, als die festen und flüssigen Körper, so ist man bei der Absicht, die Spectra einiger glühender Gase auf dem Schirme darzustellen, auf solche Stoffe beschränkt, die bei ihrer Verflüchtigung in der Knallgasflamme oder dem elektrischen Flammenbogen einen glühenden Dampf von solcher Leuchtkraft geben, dass ungeachtet des Durchganges des Lichtes durch die Linse und das dicke Prisma und der grossen Entfernung des Schirmes von dem Lichtspalte noch ein hinlänglich klares und weithin sichtbares Spectrum entsteht; die Dämpfe von Kupfer, Zink, Messing, Silber, Cadmium, Natrium, Thallium u. A. sind hierzu besonders gut anwendbar.

Obgleich sich zu diesen Versuchen die Knallgasflamme vorzüglich gut eignet, weil sie selbst fast gar kein Licht ausstrahlt, so verdient der elektrische Flammenbogen doch den Vorzug, weil er eine bedeutend grössere Hitze erzeugt und darin die genannten Stoffe weit lebhafter verdampfen und viel intensiver glühen. Um daher die Spectra der genannten Stoffe auf dem Schirme darzustellen, erhalten die einzelnen Theile, elektrische Lampe, Spalt, Linse, Prisma, Schirm dieselbe Stellung, wie wir sie bereits in Nr. 21 beschrieben und in Fig. 30 abgebildet haben; in der Lampe selbst aber ersetzt man das untere dünne Kohlenstäbchen durch einen einen halben Zoll dicken Cylinder *u*, Fig. 34, von reiner Kohle, dessen oberes Ende ein wenig ausgehöhlt ist und genau in den Brennpunkt der Laternenlinse eingestellt wird. In diese Höhlung legt man zuerst ein erbsengrosses Stück Zink, und drückt die obere Kohle *o* herab, bis sie mit dem Zink in Berührung kommt.

Augenblicklich geht der elektrische Strom durch die Kohlen, und in der Glühhitze verdampft das Zink schnell. Zieht man dann die obere Kohle *o* wieder etwas in die Höhe, um den Flammenbogen zu bilden, und zwar absichtlich etwas höher, als es in den vorigen Versuchen geschah, damit die Kohlen weniger glühen und man fast ausschliess-

Fig. 34.



Verdampfung der Metalle im elektrischen Lichte.

lich das Licht der glühenden Zinkdämpfe erhält, so erscheint auf dem Schirme das Spectrum nicht des glühenden Zinks, sondern der Zinkdämpfe, welche den Lichtbogen zwischen den beiden Kohlenstäbchen ausfüllen. Man erkennt sofort, dass sich dieses Spectrum von den früheren, continuirlichen Spectren wesentlich unterscheidet; es besteht in der That nur aus einem rothen und aus drei sehr schönen und nahe zusammenstehenden, blauen leuchtenden Bändern. Das schwache Farbenband, welches gleichsam

als Unterlage dieser leuchtenden Bänder erscheint, rührt noch von den glühenden Kohlen selbst her, deren Licht zwar sehr geschwächt, aber nicht ganz ausgelöscht ist. Beim Oeffnen der Laterne sieht man die Zinkdämpfe als bläuliche Wolken aufsteigen.

An die Stelle des durch das Zink verunreinigten Kohlencylinders setzt man dann einen frischen ein, legt ein Stückchen Kupfer auf seine obere Höhlung und lässt die elektrische Strömung wieder eintreten. Das Spectrum ist jetzt ein ganz anderes; es besteht aus drei glänzenden grünen Bändern, welche beim Zink nicht vorhanden waren; dagegen fehlen sowohl der rothe, als die blauen Streifen, welche das Zinkspectrum charakterisirten.*

Es tritt uns nun die Frage entgegen, ob die Aetherwellen, welche die Farben in dem Zink- und dem Kupferspectrum erzeugen, sich gegenseitig stören werden, wenn wir denselben Versuch machen mit Messing, einer Substanz, die aus Zink und Kupfer zusammengesetzt ist, oder ob jeder Stoff dieser Legirung unbehindert vom andern seine ihm eigenthümlichen Farben ausstrahlen, und das Spectrum der Mischung aus der Uebereinanderlagerung der Spectra der Bestandtheile zusammengesetzt sein wird? Um diese Frage zu beantworten, brauchen wir nur einen frischen Kohlencylinder einzusetzen, ein Stückchen Messing in seine Höhlung einzulegen und den Strom wieder herzustellen.

* Man kann statt der Kohlenstäbchen auch dicke Drähte oder Stäbchen von Zink resp. Kupfer anwenden; die Spectra werden dann noch brillanter und bestimmter; aber sie dauern nur einen Augenblick, weil die Metalle bei der Berührung sofort verbrennen und der elektrische Strom unterbrochen wird.

Ein prachtvolles Spectrum strahlt uns dann vom Schirme entgegen und wir erkennen ohne Mühe in demselben sowohl das rothe und die drei blauen leuchtenden Bänder des Zinks, als auch die drei grünen des Kupfers wieder. Die von den dampfförmigen Bestandtheilen einer Legirung ausgehenden Lichtstrahlen stören sich also nicht; jeder Dampf strahlt auch in der Verbindung mit anderen Dämpfen sein eigenes System von farbigen Strahlen aus, die sich beim Durchgange durch das Prisma in Folge ihrer ungleichen Brechbarkeit von einander trennen und dann als ein System gesonderter Strahlen, als ein aus farbigen Streifen zusammengesetztes Spectrum wahrgenommen werden.

Das charakteristische Kennzeichen dieser Art von Spectren, die von glühenden Dämpfen oder Gasen erzeugt werden, ist der Mangel an Continuität in der Reihenfolge der Farben. Ein solches Spectrum besteht aus einzelnen, meist sehr unregelmässig geordneten leuchtenden Farbenstreifen, untermischt mit dunkeln Zwischenräumen, und wird daher auch ein discontinuirliches oder ein Gasspectrum genannt.

Auf der farbigen Spectraltafel sind unter 2, 3, 4, 5 die Spectren der Dämpfe des Natriums, Lithiums, Caesiums und Rubidiums, unter 6, 7 und 8 die des Sauerstoffs, des Wasserstoffs und des Stickstoffs abgebildet. Sie zeigen auf den ersten Blick den grossen Unterschied zwischen dem continuirlichen Spectrum (Nr. 1) der glühenden festen und flüssigen Körper und den discontinuirlichen Gasspectren. Beim Natriumdampfe (Nr. 2) besteht das ganze Spectrum unter den gewöhnlichen Verhältnissen, wenn nicht eine ausser-

gewöhnlich hohe Temperatur angewandt wird, aus einer einzigen glänzenden, orangefarbenen Linie, die sich jedoch bei hinlänglicher Verlängerung des Spectrums als eine Doppellinie zu erkennen giebt. Das Spectrum des glühenden Lithiumdampfes (Nr. 3) besteht in einer stark leuchtenden, prachtvoll rothen und einer matt orangegelben Linie, im Ganzen also nur aus zwei farbigen Linien oder Streifen. Weit zusammengesetzter ist schon das Caesium-Spectrum; es enthält bei hinreichend hoher Temperatur des glühenden Dampfes zehn bis dreizehn deutlich unterscheidbare Linien, darunter drei, welche auch bei niedriger Temperatur auftreten. Von diesen drei Linien sind zwei blau und eine orangegelb; die übrigen gelben und grünen Linien kommen erst dann als einzelne Linien zum Vorschein, wenn bei hinreichend hoher Temperatur die Lichtstärke des glühenden Dampfes eine bestimmte Grösse erreicht hat; so lange diese Temperatur nicht erreicht ist, verfliessen diese Linien nach Art eines continuirlichen Spectrums zu einem schwachen Lichtscheine ineinander.

Um die vorhin bei dem Spectrum des Messings gemachten Wahrnehmungen zu ergänzen, empfiehlt es sich, noch folgende zwei weitere Versuche anzustellen. Auf den unteren Kohlencylinder legt man ein kleines Körnchen Natrium und lässt den galvanischen Strom von demselben zur oberen Kohlenspitze übergehen. Das Natrium verdampft in dem Flammenbogen sehr rasch und auf dem Schirme erscheint das bereits beschriebene Spectrum des glühenden Natriumdampfes (Tafel Nr. 2), ein einziger hell leuchtender orangegelber Streifen. Jetzt unterbricht man den Strom, setzt zwei frische Kohlen ein, legt auf die

untere Kohle ein Korn Kochsalz, und stellt den Strom wieder her. Kochsalz ist eine Verbindung von Chlor und Natrium und man könnte nach dem Versuche mit dem Messing, dessen Spectrum aus den beiden Spectren seiner Bestandtheile, Zink und Kupfer, zusammengesetzt war, vermuthen, dass das Spectrum des Kochsalzes aus den Spectren des Chlorgases und des Natriumdampfes bestehen werde; das ist aber offenbar nicht der Fall, denn man sieht auf dem Schirme genau an der früheren Stelle nur denselben gelben Streifen, welchen das metallische Natrium gab; von dem Spectrum des Chlors, welches in isolirtem Zustande ein sehr charakteristisches Spectrum giebt, ist hier nichts zu sehen.

Aehnlich verhalten sich die übrigen Chlormetalle, von denen man beispielsweise etwas Chlorlithium, Chlorbarium, Chlormagnesium und Chlorthallium zusammenmischen und auf die obere Fläche eines andern, etwas erbreiterten Kohlencylinders ausbreiten mag. Wenn dann der Strom wieder von Kohle zu Kohle übergeht, verdampfen diese Stoffe im Flammenbogen und man sieht, nachdem man den Spalt etwas verengert hat, eine Menge von dicht zusammenstehenden farbigen Streifen, von denen einige, z. B. der rothe des Lithiums, der glänzend grüne des Thalliums besonders deutlich hervortreten. Setzt man ein zweites Prisma vor (Fig. 32), um das Spectrum auf sechs Fuss zu verlängern, so erscheinen die einzelnen Streifen zwar weniger hell, aber schärfer von einander gesondert; durch Erbreiterung des Spaltes gewinnen die Streifen etwas an Leuchtkraft. Für denjenigen, dem die einzelnen Spectra des Lithiums, des Bariums, des Magnesiums und des

Thalliums bekannt sind, hält es nicht schwer, aus dem Gesammtspectrum, welches die Mischung dieser Stoffe ausstrahlt, jeden einzelnen Stoff zu erkennen; das Spectrum des Chlors ist jedoch wieder nicht vorhanden, wenigstens nicht wahrzunehmen.

Wenn man in gleicher Weise die verschiedenen übrigen Verbindungen eines Metalls, z. B. des Natriums, des Calciums u. s. w., also Chlorcalcium, Jodcalcium, salpetersauren Kalk u. s. w. der Spectralanalyse unterwirft, so erhält man stets nur das Spectrum des Metalls Calcium, nicht aber das der übrigen Bestandtheile; die Spectra der metallischen Dämpfe machen sich daher in besonders hervorragender Weise geltend und zwar derart, dass das Spectrum eines andern nicht metallischen Stoffes, mit welchem das Metall verbunden ist, entweder gar nicht auftritt, oder durch die sehr hellen und glänzenden Linien des Metallspectrums überstrahlt und bis zur Unsichtbarkeit verdunkelt wird.

27. Spectralapparate.

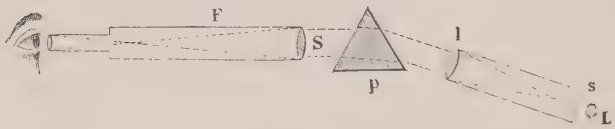
Es wird nach dem Bisherigen bei Manchem der Gedanke aufgestiegen sein, dass die Darstellung des Spectrums eines Stoffes behufs seiner spectralanalytischen Untersuchung doch mit sehr vielen Schwierigkeiten und Umständlichkeiten verbunden, und die Beschäftigung mit dergleichen Arbeiten nicht Sache eines jeden Chemikers oder Physikers sei. Dem ist jedoch nicht so; wenn wir uns bei unserer Darstellungsweise einer grossen galvanischen Batterie, des elektrischen Kohlenlichtes und seines Regu-

lators, des drehbaren Tisches und des entfernt stehenden grossen Schirmes bedient haben, so geschah dieses Alles nur deshalb, um zu zeigen, wie man bei der ausserordentlichen Hitze und Leuchtkraft der im elektrischen Flammenbogen weissglühenden Kohlen die einfachen Grunderscheinungen der Spectralanalyse mehreren Hundert Zuschauern, die in einem Saale versammelt sind, gleichzeitig sichtbar machen kann. Wenn diese Absicht nicht vorhanden ist und die Leuchtkraft der glühenden Dämpfe nur so gross zu sein braucht, um von einem einzelnen Beobachter wahrgenommen zu werden, so fällt der ganze elektrische Apparat fort und ein einfacher Bunsen'scher Gasbrenner (Fig. 3) tritt an seine Stelle; ja eine Spiritusflamme reicht in manchen Fällen hin, um das Gasspectrum eines Stoffes zu erzeugen. Der Spalt und das Prisma reduciren sich dann auf kleine Dimensionen; an die Stelle des grossen, das Licht reflectirenden Papierschirms tritt als auffangende Fläche für das Spectrum der kleine empfindliche Nervenschirm, die Netzhaut des menschlichen Auges, und alle einzelnen Theile, die uns bisher in grossen, vielen Raum beanspruchenden Dimensionen erschienen sind, vereinigen sich zu einem kleinen, ebenso leicht als sicher zu handhabenden Spectralapparate.

Das allen Spectralapparaten oder Spectroskopen Gemeinsame besteht ausser der Lichtquelle aus einem verstellbaren Spalte, einer Vorrichtung (Glaslinse), um die durch den Spalt einfallenden Lichtstrahlen parallel zu machen, und aus dem Prisma. Damit der Apparat zu jeder Tageszeit gebraucht werden könne, muss alles nicht zur Untersuchung gehörende Seitenlicht abgehalten werden;

man schliesst deshalb den Spalt, die Linsen und das Prisma in einem Rohre ein, oder bedeckt, wenn das Prisma zu gross ist, dasselbe mit einer Kappe. Um endlich das Spectrum, welches bei seinem Austritte aus dem Prisma nicht sehr viel breiter ist als die Spaltöffnung, und sich erst mit der Entfernung vom Prisma verlängert, auch bei einem kleinen Abstande des Auges vom Prisma angemessen zu vergrössern, wendet man ein Vergrösserungsglas an, betrachtet also das aus dem Prisma austretende Spectrum nicht mit blossem Auge, sondern durch ein mässig vergrösserndes Fernrohr.

Fig. 35.



Einfaches Spectroskop.

Es ist bereits früher schon erwähnt worden, dass die farbigen Strahlen, aus denen das Spectrum besteht, mit den unzerlegten Strahlen, welche die Lichtquelle auf das Prisma sendet, einen Winkel bilden. Wenn man daher das Spectrum betrachten will, muss das nach der Austrittsfläche des Prismas hingerichtete Fernrohr eine andere Richtung haben, als dasjenige Rohr, welches die Spaltöffnung und die Linse trägt. Eine derartige Einrichtung des Spectroskops stellt Fig. 35 vor. Das von L ausgehende Licht gelangt durch den Spalt s und die Linse l in parallelen Strahlen auf das Prisma p, wird hier sowohl abgelenkt als zerlegt, und dann vermittelst des Fernrohres F in einer von der Richtung des Einfallsrohres sl abweichen-

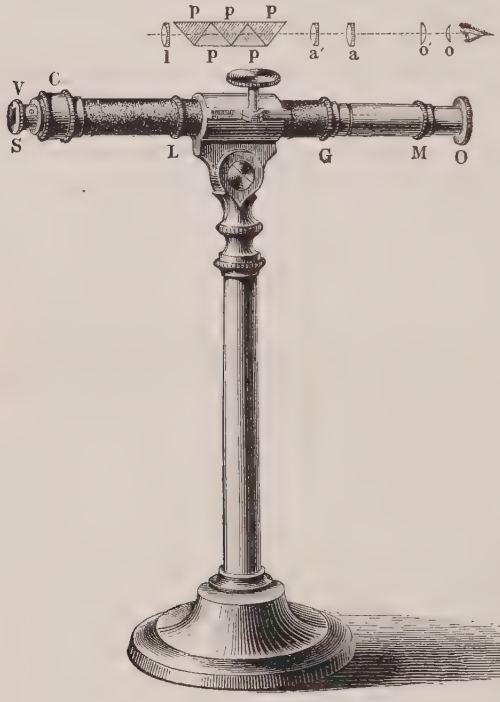
den Richtung des Spectrums S wahrgenommen. Diese Einrichtung hat die Unbequemlichkeit, dass bei der spectralanalytischen Untersuchung das Auge nicht direct nach der Lichtquelle hingerichtet und das Spectrum erst durch einiges Probiren vermittelst Hin- und Herdrehens des Apparates gefunden werden kann. Weit bequemer würde offenbar ein Spectroskop sein, dessen sämmtliche Theile, Spalt, Linse, Prisma, Fernrohr, in einer einzigen geraden Linie lägen, so dass man in jedem einzelnen Falle der Anwendung nur nöthig hätte, das fernrohrartige Instrument in gerader Richtung nach der Lichtquelle hinzurichten, um sofort in demselben das Spectrum der letzteren wahrzunehmen.

Schon im Jahre 1860 erreichte Amici diesen Zweck annähernd durch eine zweckgemässe Combination von zwei Crownglasprismen, die ein drittes Flintglasprisma von neunzig Grad zwischen sich einschlossen. Janssen nahm später diese Construction wieder auf und brachte mit Hülfe des ausgezeichneten Mechanikers Hofmann in Paris ein Spectroskop zu Stande, welches den Namen Taschen-Spectroskop erhalten hat und durch die Leichtigkeit seiner Handhabung, den billigen Preis und die grosse Reinheit und Länge der Spectra, die es liefert, ein unentbehrliches Instrument für den Chemiker, den Physiker und den Astronomen geworden ist.

Das Hofmann'sche Taschen-Spectroskop (à vision directe), Fig. 36, hat das Ansehen eines gewöhnlichen Fernrohrs und wird bei dem Gebrauche entweder in der Hand gehalten, oder, um die zitternde Bewegung der Hand zu vermeiden, auf ein kleines Stativ leicht drehbar aufgestellt.

In der Abbildung sind die einzelnen Theile an derjenigen Stelle über dem Instrumente gezeichnet, wo sie im Innern desselben angebracht sind. An dem vorderen, nach der

Fig. 36.

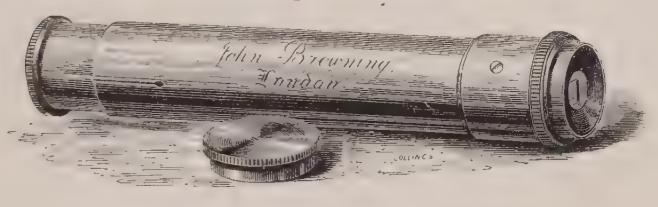


Hofmann'sches Taschen-Spectroskop.

Lichtquelle hingerichteten Theile befindet sich der Spalt *S*, der durch zwei Stahlschneiden gebildet wird und vermittelst einer Schraube *V* und einer reagirenden Feder leicht erweitert und verengert werden kann. Bei *L* ist die Linse *l* eingefügt, welche die durch den Spalt *S* divergirend

einfallenden Lichtstrahlen parallel macht und auf die dahintergestellten fünf Prismen p wirft. Letztere, von denen das erste, dritte und fünfte Crownglas, das zweite und vierte Flintglas sind, bilden ein vortrefflich zusammengesetztes System mit so bemessenen Winkeln, dass die aus demselben austretenden farbigen Spectralstrahlen die Richtung der einfallenden Strahlen haben und daher in dem Rohre $LGMO$, in welchem die vereinigten Prismen die Stelle zwischen L und G einnehmen, geradlinig fortgehen. Die Linsen a' und a hinter G bilden das Objectiv, o' und o

Fig. 37.



John Browning's Taschen-Spectroskop.

in dem ausziehbaren kleinen Rohre O das Ocular des Fernrohres, durch welches man das Spectrum betrachtet.

Ein anderes Taschen-Spectroskop mit sieben Prismen, das sich durch seine vorzügliche Leistung, seine leichte Handhabung, seine geringen Dimensionen, seine Reinheit und seinen sehr niedrigen Preis (14 Thaler) auszeichnet, wird von John Browning in London angefertigt. Dasselbe ist in Fig. 37 abgebildet; der Spalt wird einfach durch Drehung eines am Ende befindlichen Ringes regulirt; seine Länge beträgt nur $3^1/_2$ Zoll.

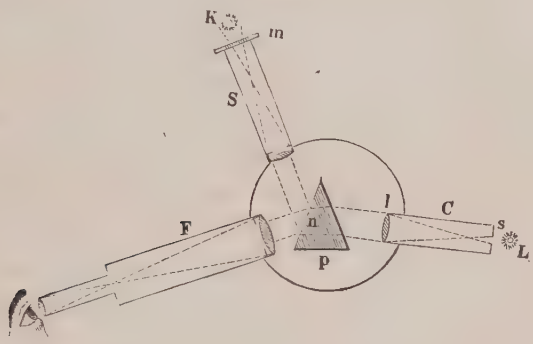
Wir haben bereits gesehen, dass die Spectra der glühenden Dämpfe aus einem oder in den meisten Fällen

aus mehreren farbigen Streifen bestehen, und dass es nicht schwer hält, aus dem Systeme dieser farbigen Linien die Substanz, welche dieses Spectrum erzeugt, zu erkennen. Die Erfahrung hat nun zwar gelehrt, dass die einzelnen Linien, welche das Spectrum eines bestimmten Stoffes bilden, mit den Linien des gleichzeitig erscheinenden Spectrums eines andern Stoffes niemals zusammenfallen, aber bei der sehr grossen Anzahl der Linien, welche zuweilen in einem Spectrum vorkommen (im Eisen z. B. nach Angström und Thalén 460 bis 500) rücken diese Linien namentlich dann, wenn das Spectrum nicht sehr ausgedehnt wird, so nahe zusammen, dass es in solchen Fällen wünschenswerth erscheint, an dem Spectralapparate eine Vorrichtung zu besitzen, um die relative Lage der einzelnen Linien bestimmen und die Abstände derselben von einander genau angeben zu können.

Die Anzahl und die Entfernungen dieser Linien sind zwar für einen und denselben Stoff bei gleichbleibender Temperatur für einen bestimmten Apparat immer dieselben, wie verschiedenartig auch die Verbindung sein mag, in welcher dieser Stoff vorkommt; aber durch Anwendung anderer Prismen von grösserer Zerstreuungskraft, oder mehrerer Prismen, oder durch Vergrösserung des brechenden Winkels oder des Fernrohrs werden diese Entfernungen grösser, so dass die wirklichen Abstände derselben zwei Spectrallinien eines und desselben Stoffes je nach der Einrichtung des Spectralapparates sehr verschieden sind. Diese Verschiedenheit erstreckt sich sogar auf die relativen Abstände der verschiedenen Linien eines und desselben Spectrums; wenn durch irgend welche Ein-

wirkungen das Gesammtspectrum eines Stoffes auf die doppelte, dreifache Länge ausgedehnt wird, so rücken keineswegs alle Spectrallinien paarweise auf die doppelte, dreifache Entfernung aus einander (Nr. 38). Aus diesem Grunde sind die Spectra eines und desselben Stoffes für zwei verschiedene Spectroskope nicht durchaus gleich und man bedarf behufs ihrer Vergleichung eines Mittels, um die Abstände der einzelnen Linien von einander messen

Fig 38.



Die Scala im Spectroskop.

und eine nähere Untersuchung über die relative Lage derselben in beiden Spectren anstellen zu können.

Die einfachste und am meisten angewandte Vorrichtung dieser Art wird durch die schematische Zeichnung, Fig. 38, erläutert. *C* ist wieder wie in Fig. 35 das Einfallsrohr mit dem Spalte *s* und der Collimatorlinse *l*, *p* das Prisma und *F* das Fernrohr. Zu diesen bereits besprochenen Theilen kommt noch ein drittes Rohr *S* hinzu, welches wie die anderen an dem Stative befestigt wird und mit ihnen in einer wagerechten Ebene liegt. An dem

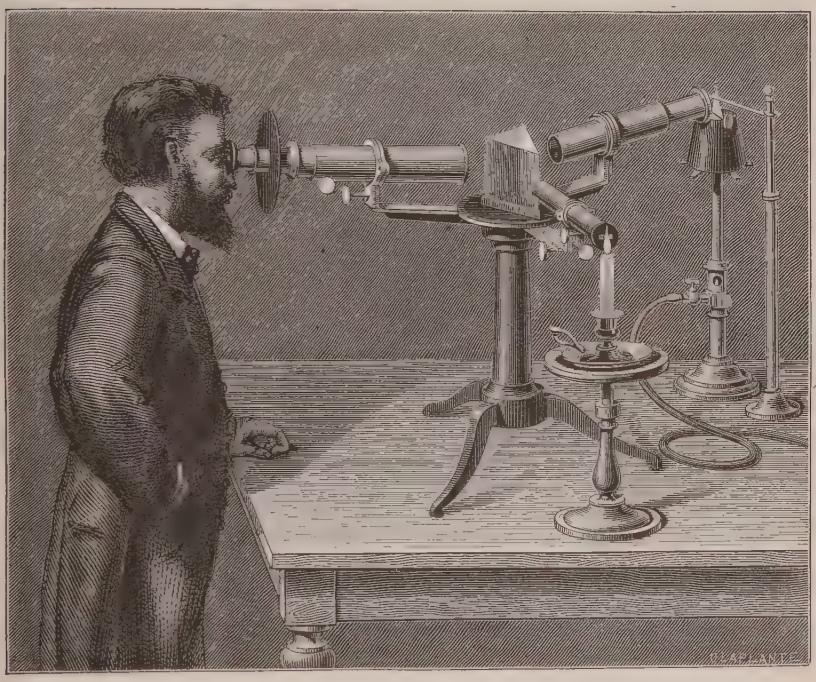
äusseren Ende dieses Rohres ist eine auf Glas photographirte Millimeterscala *m* befestigt, welche ungefähr fünfzehnmal verkleinert und je nach der Grösse des Apparates mit einer grösseren oder geringeren Anzahl von feinen Theilstrichen versehen ist. Das Rohr *S* ist so gegen die Mitte der dem Fernrohre zugewandten Prismenfläche *n* geneigt, dass seine Achse und die Achse des Fernrohrs mit dieser Fläche gleiche Winkel bilden, folglich die Scala *m* nach den Gesetzen der Reflexion des Lichtes an der spiegelnden Glasfläche des Prismas in der Richtung der Fernrohrachse reflectirt und das Spiegelbild derselben durch das Fernrohr gleichzeitig mit dem zu beobachtenden Spectrum vergrössert gesehen wird. Um jedoch die Scala *m* mit ihren dunkeln Theilstrichen und Nummern deutlich sehen zu können, wird sie beiderseits mit Staniol eingefasst und durch das Licht einer Kerzenflamme *K* oder einer kleinen Gasflamme von aussen erleuchtet; das Bild der Scala erscheint dann auf der ganzen Länge des Spectrums in voller Schärfe, und zwar so, dass ihre schwarzen Theilstriche parallel zu den farbigen Streifen sind und so die Abstände je zweier dieser Streifen sich leicht in Theilen dieser Scala ablesen lassen.

Bei dem Taschen-Spectroskop befindet sich im Ocular des Fernrohrs eine kleine auf Glas angebrachte Theilung, welche ebenfalls, durch das Ocular angesehen, sich auf die Länge des Spectrums projicirt und eine Vergleichung der Abstände je zweier Spectralstreifen gestattet.

Man wird nun im Stande sein, die Bedeutung der einzelnen Theile, insbesondere der drei in Winkeln gegen das Prisma gerichteten Rohre eines vollständigen Spectral-

apparates, Fig. 39, wie er von Kirchhoff und Bunsen construirt worden ist, zu verstehen. Das Auge des Beobachters ist in der Achse des Fernrohrs nach derjenigen Fläche des Prismas gerichtet, aus welcher das Licht als Spectrum

Fig. 39.



Vollständiges Spectroskop.

austritt; die gegenüberstehende Fläche des Prismas empfängt durch den Spalt und die Collimatorlinse das von der Lichtquelle ausgehende Licht; zur Seite des Beobachters befindet sich das Scalenrohr mit dem durch ein Kerzenlicht erleuchteten Maassstabe. Bei den vollständigeren Apparaten

erhält letzterer noch die Einrichtung, dass er vermittelst einer feinen Mikrometerschraube in seiner Längenrichtung verschoben werden kann, wodurch es möglich wird, irgend einen bestimmten Scalentheil mit einer bestimmten Linie des Spectrums zur völligen Deckung zu bringen.*

Die Spectra der glühenden festen und flüssigen Stoffe sind continuirlich und gleichen sich so sehr, dass sie in den wenigsten Fällen von einander unterschieden werden können. Spectra dieser Art sind daher zum Erkennen eines Stoffes nicht geeignet, sie berechtigen aber in der Regel zu dem Schlusse, dass der Stoff sich in einem festen oder flüssigen Zustande befindet. Nur die discontinuirlichen aus farbigen Linien bestehenden Flammen- oder Gasspectra sind für jeden Stoff charakteristisch und so bestimmt, dass man aus der Anzahl, der Lage und der Helligkeit dieser Linien die chemische Beschaffenheit der Dämpfe, welche die Spectra erzeugt haben, leicht und sicher erkennen kann. Hieraus folgt, dass die Spectralanalyse es vorzugsweise mit der Untersuchung der Gasspectra zu thun hat, und diese Untersuchung behufs der Darstellung derselben damit beginnen wird, die zu analysirenden Stoffe, wenn sie nicht schon von Natur gasförmig sind, dampf- oder gasförmig zu machen.

Die Temperatur, bei welcher sich die einzelnen Stoffe verflüchtigen lassen, ist sehr verschieden; während für manche, z. B. Kalium, Natrium, schon die Hitze einer gewöhnlichen Weingeistflamme ausreicht, muss für andere, namentlich für die schweren Metalle und deren Verbindungen,

* Die Beschreibung der Telespectroskope, Meteorospectroskope etc. später.

die Hitze des elektrischen Funkens angewandt werden. In den meisten Fällen aber reicht die Temperatur des Bunsen'schen lichtlosen Gasbrenners hin, um die zu untersuchenden Stoffe oder deren Verbindungen zu verflüchtigen und in ein so intensives Leuchten zu versetzen, dass ihre Spectra mit grosser Lichtstärke und in charakteristischen farbigen Linien scharf hervortreten. Eine Bunsen'sche Gaslampe, wie sie in Fig. 3 abgebildet ist, gehört daher zu den nothwendigen Requisiten eines Spectralapparates; wie die Fig. 39 zeigt, umgiebt man die durch das Einströmen von atmosphärischer Luft fast lichtlos gemachte Flamme mit einem Kegel von geschwärztem Blech, um das Flackern zu verhüten, und man benutzt bloss ihre obere, sehr heisse Spitze, um mittelst eines dünnen Platinadrahtes, der in dieser Flamme unveränderlich ist, die zu prüfenden Stoffe von der Seite her einzuführen. In den Fällen, in denen man die Hitze des elektrischen Funkens zur Verflüchtigung der Stoffe anwenden muss, bedient man sich des Funken-Inductors und der durch die Fig. 7 und 8 erläuterten Vorrichtungen zur Erzeugung kräftiger elektrischer Funken, bestreicht die metallischen Drähte, zwischen denen die Funken überspringen, mit den zu untersuchenden Substanzen und stellt den Spalt des Spectroskopes parallel zu der Linie, welche die Enden dieser Drähte verbindet.

Bei der Untersuchung der Spectra derjenigen Stoffe, welche bereits gasförmig sind, z. B. des Wasserstoffs, Sauerstoffs u. s. w., werden dieselben nach der Methode Plücker's in Geissler'schen Röhren (Fig. 11) durch elektrische Funkenapparate glühend gemacht und die hellleuchtenden Theile der Röhren vor den Spalt des Spectroskops gestellt.

28. Einfluss der Temperatur und der Dichtigkeit auf die Gasspectra.

Bunsen und Kirchhoff haben nachgewiesen, dass der Hitzegrad der Flamme, in welcher ein Stoff verflüchtigt und glühend gemacht wird, zwar keinen Einfluss hat auf die Lage der farbigen Spectrallinien, wohl aber auf die Zahl und Helligkeit derselben. Da letztere mit der Temperatur der Flamme wächst, so geschieht es sehr häufig, dass in dem Spectrum eines und desselben Stoffes bei hohen Hitzegraden helle Linien auftreten, welche man bei einer niederen Temperatur nur sehr wenig oder gar nicht wahrnehmen kann. Das Spectrum des durch die Spectralanalyse neuentdeckten Metalls Thallium besteht aus einer einzigen, glänzenden, grünen Linie, wenn man zu seiner Verflüchtigung einen Bunsen'schen Brenner anwendet; lässt man aber den elektrischen Funken zwischen zwei Thalliumdrähten überspringen, so zeigt das Spectrum in der viel höheren Temperatur des Funkens ausser der grünen Linie davon entfernt noch eine Reihe von violettfarbigen Bändern. Lithium zeigt bei mässigen Temperaturen nur die eine, bereits erwähnte prachtvoll rothe Linie; bei höheren Hitzegraden tritt noch eine schwächere orangenfarbene Linie hinzu, und in der höchsten Hitze des elektrischen Flammenbogens hat zuerst Tyndall während einer Vorlesung in der Royal Institution zu London noch einen hell leuchtenden, blauen Streifen beobachtet. Bringt man in die Flamme eines Bunsen'schen Brenners etwas Kochsalz, so erhält man ein wenig intensives, einfarbiges Licht, welches das Prisma zu einem Spectrum aus einer einzigen orange-

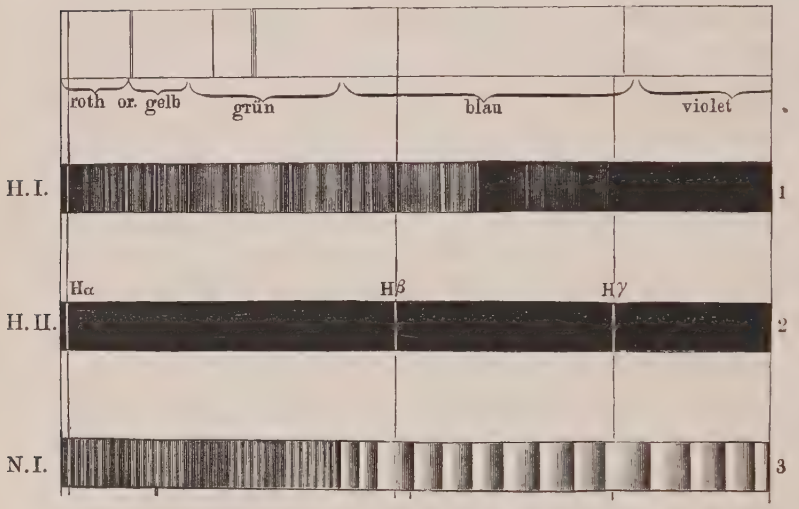
gelben Linie gestaltet. Erhöht man aber durch Zuführung von Sauerstoff die Temperatur dieser Flamme, so wird ihr Glanz sofort lebhafter, die Anzahl der verschiedenfarbigen Spectrallinien wird grösser und man nähert sich dem continuirlichen Spectrum. Wendet man endlich einen Debrai'schen Heizapparat an, welcher die Temperatur der Natriumdämpfe auf zweitausendfünfhundert Grad zu steigern gestattet, so wird die Anzahl der glänzenden Spectrallinien so gross, dass die verschiedenen Farben derselben in einander übergehen und zu einem continuirlichen Spectrum zusammenfliessen. Die sonst gelbe Natriumflamme ist dann weiss und enthält Strahlen einer jeder Brechbarkeit.

Zu ähnlichen Resultaten gelangten Plücker und Hittorf bei ihren Untersuchungen über die Spectra glühender Gase und Dämpfe, in welchem u. A. für Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Phosphor, Schwefel, Selen die Existenz zweier verschiedener Spectra (der ersten und zweiten Ordnung) nachgewiesen wurde. Das Spectrum der ersten Ordnung ist ein continuirliches mit schattirten Feldern; das der zweiten Ordnung besteht aus mehr oder weniger durch dunkle Zwischenräume getrennten hellen Linien; jenes entsteht bei elektrischen Entladungen von geringer Spannung; dieses gehört den Temperaturen an, wie man sie durch elektrische Funken von hoher Spannung in den Geissler'schen Röhren hervorbringt.

Aber auch in dem Falle, wo man auf eine und dieselbe Art und Weise die elektrische Entladung zum Glühen eines Gases anwendet, erhält man doch verschiedene Spectra, wenn man dem Gase in der Spectralröhre eine verschiedene

Dichtigkeit giebt. Wüllner hat diese Untersuchungen für den Sauerstoff und den Wasserstoff durchgeführt und für jedes dieser Gase je nach dem Grade seiner Dichtigkeit drei verschiedene Spectra gefunden. Für den Wasserstoff ergab sich, dass das Spectrum dieses Gases bei einem Drucke von siebzig Millimeter Quecksilber noch nahezu

Fig. 40.



Spectra verschiedener Ordnungen.

continuirlich ist, und die drei charakteristischen Linien *Hα* (blendend roth), *Hβ* (glänzend grünlich blau), *Hγ* (blauviolett, schwächer als die vorigen) (Spectraltafel Nr. 7) noch wenig hervortreten; dass bei zweiundfünfzig Millimeter Druck das Spectrum ganz so ausgebildet ist, wie es die Fig. 40 Nr. 1 zeigt, und erst bei einer Dichtigkeit, welche dem Drucke von sechs bis drei Millimeter entspricht, die genannten drei Linien in ihrer vollen Intensität auftreten,

die übrigen farbigen Partien aber fast ganz verschwinden, (Fig. 40 Nr. 2). Auf diese Weise konnte Wüllner in einer und derselben Spectralröhre durch allmähliches Verdünnen des Gases drei ganz von einander verschiedene Spectra hervorbringen und anscheinend den Nachweis liefern, dass das continuirliche Spectrum H. I. (erster Ordnung) des dichteren Gases einer niedrigeren Temperatur angehört, als das Linienspectrum des dünneren Gases H. II. (zweiter Ordnung). Auf derselben Tafel ist in Nr. 3 noch das Spectrum des Stickstoffs (N = Nitrogen) erster Ordnung abgebildet.

Frankland und Lockyer endlich haben gefunden, dass bei niedriger Temperatur und geringem Drucke das Spectrum des Wasserstoffs, wie das des Stickstoffs, nur aus einer einzigen Linie im Grün besteht, welche beim Wasserstoff mit der dunkeln Linie F (Spectraltafel 7 und 10) zusammenfällt, und dass erst bei der Erhöhung der Temperatur neue Linien hinzukommen.

29. Bezeichnung der Spectrallinien.

Ausser der Anzahl der Linien, welche das Spectrum eines Stoffes zusammensetzen, verdient die Lichtstärke der einzelnen Linien noch eine besondere Beachtung. Da dieselbe mit der Temperatur wächst, so sind diejenigen Linien, welche bei hoher Temperatur besonders stark hervorglänzen, in der Regel zugleich diejenigen, welche bei einer niederen Temperatur im Spectrum zuerst auftreten. Diese Linien sind es daher auch, welche unter den vielen anderen das Spectrum eines Stoffes zusammensetzenden

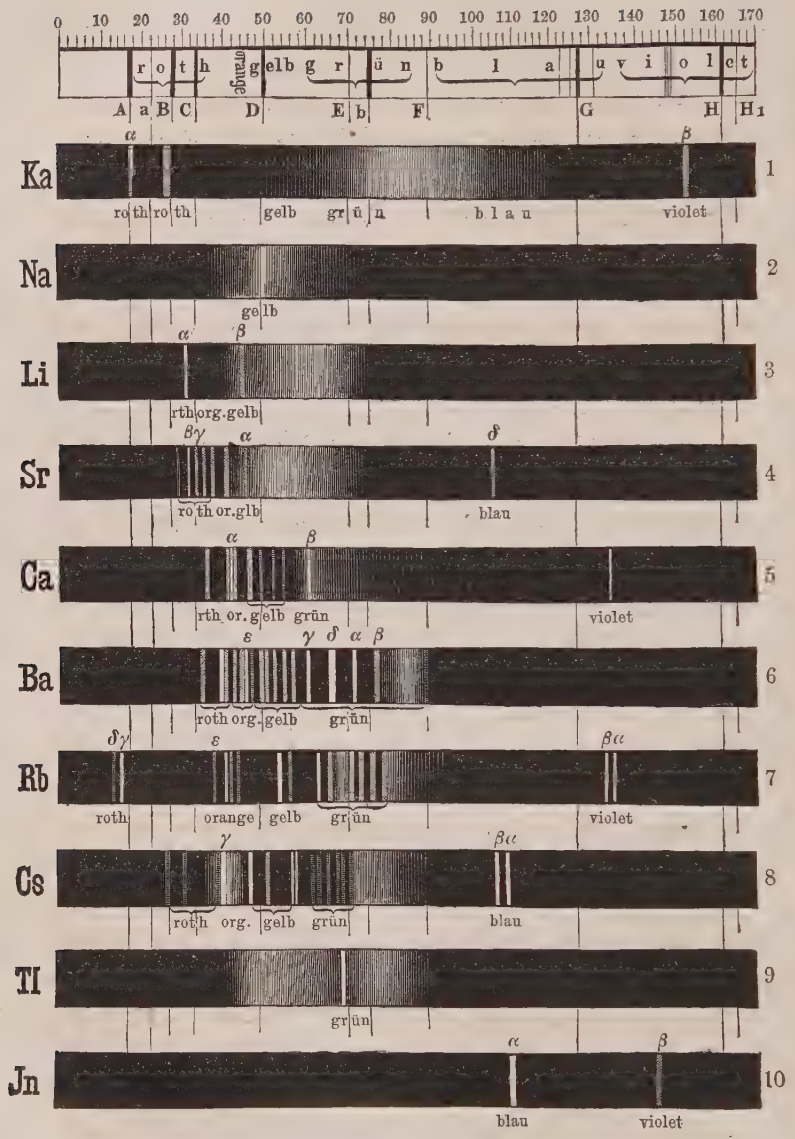


Fig. 41. Spectraltafel nach Kirchhoff und Bunsen.

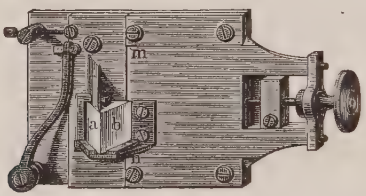
Linien zur Erkennung des Stoffes selbst am geeignetsten sind und aus diesem Grunde die charakteristischen Linien des Spectrums genannt werden. Man bezeichnet solche Linien für einen und denselben Stoff nach dem Grade ihrer Helligkeit mit den griechischen Buchstaben α, β, γ, δ u. s. w., und fügt letztere dem chemischen Zeichen, mit welchem man den Stoff bezeichnet, hinzu. Das Kaliumspectrum (Fig. 41 Nr. 1) hat eine rothe und eine blauviolette charakteristische Linie; jene, als die intensivste, wird daher mit Ka,α, diese mit Ka,β bezeichnet. Die hellleuchtende rothe Linie des Lithiums (Fig. 41 Nr. 3; Farbentafel Nr. 3) heisst Li,α; die schwächere orangenfarbene Li,β; die charakteristischen Linien des Bariumspectrums (Nr. 6) liegen im Grün; die des Caesiums (Nr. 8; Farbentafel Nr. 4) Cs,α und Cs,β sind blau; des Rubidiums (Nr. 7, Farbentafel 5) Rb,α, Rb,β violett, Rb,γ, Rb,δ dunkelroth; die intensivste Linie des Wasserstoffgases (Farbentafel Nr. 7) $H\alpha$ ist roth, die grünblaue $H\beta$ ebenso glänzend, die violette $H\gamma$ ist schwächer u. s. w.

Die Tafel Fig. 41 enthält die von Kirchhoff und Bunsen ermittelten Spectra von 1) Kalium, 2) Natrium, 3) Lithium, 4) Strontium, 5) Calcium, 6) Barium, 7) Rubidium, 8) Caesium, 9) Thallium, 10) Indium in übersichtlicher Zusammenstellung mit Angabe der Farbe der einzelnen Spectrallinien und mit Scala zur Bestimmung ihrer relativen Abstände. Die über Nr. 1 stehenden Farben bilden das Sonnenspectrum; die in demselben vorkommenden schwarzen Linien A, B bis H werden später ihre Erklärung finden.

30. Das Vergleichsprisma.

Durch sorgfältige Untersuchungen der Spectrallinien aller bekannten Stoffe, wobei nicht bloss auf die Helligkeiten Rücksicht genommen, sondern auch die relativen Abstände derselben genau gemessen wurden, ist man dahin gelangt, getreue Abbildungen der Spectra der verschiedenen Stoffe anzufertigen, wie deren einige auf der beigefügten farbigen Spectraltafel und der Tafel Fig. 41 zu sehen sind. Wenn dieselben mit einer Millimeterscala versehen sind,

Fig. 42.



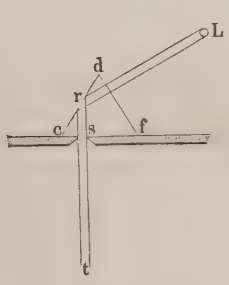
Das Vergleichsprisma.

mittelst deren man die Entfernungen je zweier farbiger Linien finden kann, so sind sie allerdings dazu geeignet, bei der Beobachtung des Spectrums irgend eines noch unbekannten Stoffes in zweifelhaften Fällen Aufschluss zu geben. Aber bei den gewöhnlicheren Spectralapparaten darf man der Messung der Linienabstände mittelst der photographirten Scala keinen grossen Werth beilegen, weil die Breite dieser Linien von der Breite des Spaltes abhängt und diese von jedem Beobachter willkürlich gewählt werden kann; auch ist die Ausmessung und die nachfolgende Vergleichung eines beobachteten Spectrums mit den in den Spectraltafeln abgebildeten Spectren mühsam, zeit-

raubend und unzuverlässig; in vielen Fällen erscheint das zu untersuchende Spectrum nur auf ganz kurze Zeit, oder, wie bei den Sternspectren, unter solchen Umständen, dass eine Vergleichung mit den Spectraltafeln unmöglich ist oder doch zu keinem zuverlässigen Resultate führt.

Für alle solche Fälle empfiehlt sich eine von Kirchhoff angegebene Methode, die darin besteht, bloss die eine Hälfte des Spaltes und des Prismas für das zu untersuchende Spectrum zu benutzen, die andere Hälfte aber dazu zu verwenden, um von einer bekannten Substanz auf gewöhnliche Weise durch Glühen ihrer Dämpfe vermittelst der zweiten Hälfte desselben Prismas ein zweites Spectrum im Spectroskop zu erzeugen, und dieses letztere mit dem noch unbekannten Spectrum direct zu vergleichen. Zu diesem Zwecke bleibt die obere Hälfte des Spaltes frei und kann, wie Fig. 42 zeigt, mittelst einer Mikrometerschraube nach Belieben weiter oder enger gemacht werden. Vor der unteren Hälfte des Spaltes aber ist ein kleines gleichseitiges Glasprisma *ab* drehbar angebracht, durch welches zunächst die Lichtstrahlen, welche direct von vorn auf die Spaltöffnung einfallen, von der unteren Hälfte derselben abgehalten werden.

Fig. 43.

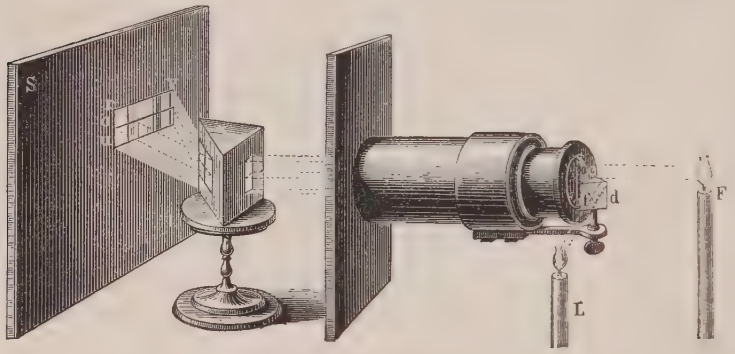


Das Vergleichsprisma.

Aus der Fig. 43, welche einen wagerechten Schnitt durch den verticalen Spalt und das Vergleichsprisma darstellt, ist die Wirkung des letzteren leicht zu verstehen. *F* ist die Lichtquelle, deren Strahlen durch die obere Hälfte

des Spaltes und über die obere Fläche des kleinen Prismas hinweg geradlinig hindurchgehen und welche daher in der gewöhnlichen Weise in Folge der umkehrenden Wirkung des Fernrohrs in der unteren Hälfte des Sehfeldes ein Spectrum erzeugen. Seitwärts wird eine Flamme L, ein Bunsenbrenner oder eine Weingeistflamme, in der Höhe des kleinen Prismas aufgestellt und darin derjenige Stoff verdampft, mit dessen Spectrum man das der Lichtquelle F

Fig. 44.



Das Doppelspectrum.

entstammende Spectrum vergleichen will. Die von L aus rechtwinklig auf die Fläche df einfallenden Strahlen werden bei r von der Prismenfläche dc, wie von einem Spiegel, total reflectirt, treten als senkrechte Strahlen in der Richtung rs ungebrochen aus dem Prisma, gehen bei s durch die untere Hälfte des Spaltes und fallen so in der Richtung st ebenso auf die untere Hälfte des Hauptprismas im Innern des Rohres, wie die vorhin erwähnten, von F ausgehenden Strahlen auf die obere Hälfte einfallen. Es entstehen auf diese Weise in dem Gesichtsfelde des Fernrohres

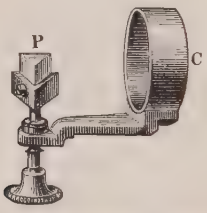
die Spectra *o* und *u* der beiden Flammen *F* und *L* über einander, wie es in Fig. 44 der grösseren Deutlichkeit wegen so dargestellt ist, wie es sich zeigen würde, wenn die beiden Spectra auf einem Schirme *S* aufgefangen würden. In der Wirklichkeit, wo man die aus dem Prisma austretenden Spectra *o* und *u* mit einem Fernrohre betrachtet, kehrt sich die Stellung beider um, so dass das Spectrum *o* der oberen Spalthälfte unten, *u* der unteren Spalthälfte oben gesehen wird. Wenn in den beiden Flammen *F* und *L* derselbe Körper verflüchtigt wird, so müssen die entsprechenden Linien des einen Spectrums genau in die Verlängerung des andern fallen, weil zwei Lichtbündel von derselben Beschaffenheit bei gleicher Spaltbreite, gleichem Prisma und derselben Stellung des Fernrohrs vollkommen gleiche Spectra erzeugen.

Vermuthet man daher in der einen Lichtquelle, z. B. *F*, das Vorhandensein eines bestimmten Stoffes, und lässt das Spectrum der oberen Spalthälfte über die Natur dieses Stoffes Zweifel, so verflüchtigt man in der zweiten Flamme *L* eine kleine Quantität dieses Stoffes, und vergleicht die beiden dicht zusammenstossenden Spectra mit einander. Findet eine vollkommene Uebereinstimmung der Linien des unteren und oberen Spectrums statt, so gehören die Linien beider Spectren einem und demselben Stoffe an; im Falle der Nichtübereinstimmung ist der zu prüfende Körper von demjenigen Stoffe, mit welchem man ihn verglichen hat, verschieden. Da das Auge für die genaue Coincidenz zweier Linien in zwei unter gleichen Verhältnissen erzeugten und gleichzeitig beobachteten Spectren sehr empfindlich ist, so gehört diese Methode der Vergleichung der Spectral-

linien eines noch unbekannten Stoffes mit denen eines bekannten zu den wichtigsten Einzelheiten der Spectralanalyse.

Die Fig. 45 zeigt, in welcher Weise man das kleine Vergleichsprisma *P* mittelst eines Ringes *C* auf das Taschen-Spectroskop (Fig. 36) leicht aufschieben oder davon abnehmen kann. Dass statt der Vergleichsflamme auch der elektrische Funke oder eine mit einem bekannten Gase gefüllte Geissler'sche Röhre angewandt werden kann, versteht sich von selbst; die grosse Tragweite aber dieser Methode und ihre Anwendung auf die Untersuchung der Spectra der Sonne,

Fig. 45.



Das Hofmann'sche Vergleichsprisma.

der Fixsterne, der Nebelhaufen und der Kometen werden wir erst später in vollem Umfange zu würdigen Gelegenheit haben.

Es liegt nicht in unserer Absicht, auf diejenigen Einzelheiten einzugehen, welche sich auf die praktische Handhabung der Spectralapparate, auf ihre Anwendung in den Gebieten der Chemie, der Industrie, der Physiologie, der Medicin u. s. w. und auf den Grad der Empfindlichkeit ihrer Angaben beziehen. Wir wollen statt dessen unsere Aufmerksamkeit noch auf einige andere Erscheinungen hinlenken, welche wie die Spectrallinien der Welt der Farben angehören, aber uns jedenfalls näher liegen als diese.

31. Die Körperfarben.

Neben den Spectralfarben, welche die nicht weiter zerlegbaren Elemente bilden, aus denen das weisse Licht zusammengesetzt ist, giebt es noch eine andere Classe von Farben, welche wir an den Körpern wahrnehmen und die wir daher Körperfarben zu nennen pflegen. Wenn wir sehen, dass das Gemälde entsteht, wenn der Maler dünne Schichten verschiedener flüssiger Stoffe auf die Leinwand bringt; wenn wir sehen, dass uns von den Blättern und den Blumen die herrlichsten Farben entgegenleuchten, und sehen, dass die weissen Gewebe bald roth, bald grün, bald blau erscheinen, je nachdem man sie in diese oder jene Flüssigkeit eintaucht, mit diesem oder jenem Stoffe überzieht: so kommen wir leicht zu dem Glauben, dass ein jeder farbiger Körper seine Farbe an sich trage, dass die Farbe ihm eigenthümlich sei und dieselbe ihren Sitz in dem Körper selbst habe. Höchstens möchte man zugeben, dass es nur noch des Lichtes bedürfe, um diese dem Körper anhaftende Farbe sichtbar zu machen.

Und doch ist es nicht so! Wären die Farben etwas Wirkliches, das in oder an dem Körper haftete, so müssten gefärbte Stoffe offenbar stets in derselben Farbe erscheinen, die Beleuchtung möchte sein, welche sie wollte. Dass dieses nicht der Fall ist, ist allgemein bekannt. Das schöne blauviolette Kleid, welches im Tageslichte in reinster Farbenpracht strahlt, erscheint des Abends bei Gaslicht trübe und stumpf; Stoffe, welche im Tageslichte schön blau erscheinen, erhalten bei dem Lichte einer Kerze oder einer Lampe einen grünlichen Ton. Und vollends, wenn

man die farbigen Stoffe oder eine ganze Landschaft durch ein gefärbtes Glas ansieht! Alle Farben erscheinen dann verändert, ohne dass die Körper sich im Geringsten ändern; ist das Glas intensiv gefärbt, so verschwinden sogar die verschiedenen Farben der dadurch betrachteten Körper vollständig und man bemerkt nur ein Hell und ein Dunkel in der Farbe des Glases. Dasselbe geschieht, wenn man den Docht einer brennenden Spiritusflamme mit Kochsalz einreibt und mit dem gelben Lichte, welches eine solche Flamme ausstrahlt, die Gegenstände eines Zimmers beleuchtet; die Farben verschwinden oder verlieren bedeutend an ihrem Glanze, und statt derselben sieht man nur Hell und Dunkel oder ein schmutziges Grau.

Alles das zeigt uns deutlich, dass die Farben nicht wesentlich den Körpern anhaften, dass sie keine freie Existenz haben, sondern dass sie erst durch eine ausser dem Körper liegende Ursache hervorgerufen werden müssen, wenn sie in die äussere Erscheinung treten sollen.

Andererseits aber lehren dieselben Betrachtungen, dass in den Körpern doch etwas vorhanden sein muss, welches zur Entstehung der Farbe beiträgt; denn sie nehmen keineswegs die Farbe desjenigen Lichtes an, mit welchem man sie beleuchtet, sie erscheinen vielmehr in der Regel in einer Farbe, die von derjenigen, mit welcher man sie beleuchtet, verschieden ist.

Wir nennen nun die natürliche Farbe eines Körpers diejenige, in welcher er uns erscheint, wenn er von rein weissem Lichte, dem Sonnen- oder dem Tageslichte beschienen ist; wir nennen ihn roth, wenn er im Tageslichte roth; blau, wenn er im Tageslichte blau erscheint. Fällt

nun weisses Licht auf einen Körper und erscheint er trotzdem in einer andern Farbe, als der weissen, so haben wir die Ursache dazu in einer Veränderung zu suchen, welche die Oberfläche des Körpers auf die Aetherwellen des weissen Lichtes, von denen sie getroffen wird, ausübt. Diese Veränderungen sind aber je nach der Natur des Farbstoffes, mit welchem der Körper versehen ist, sehr verschieden, lassen sich aber meistens darauf zurückführen, dass ein Theil der Aetherbewegung durch Uebertragung auf die ponderabeln Atome des Körpers ganz aufgehoben oder so bedeutend vermindert wird, dass statt des Lichtes Wärme entsteht, oder auch dass die Aetherwellen an der Oberfläche des Körpers unregelmässig reflectirt werden, wie es auch unter geeigneten Umständen mit den Schallwellen der Luft geschieht. Im ersteren Falle sagt man, dass die Lichtstrahlen von dem Körper absorbirt werden; das unregelmässig zurückgeworfene Licht nennt man dagegen diffuses Licht.

Wenn die Oberfläche des Körpers die Eigenschaft hat, alle Farben des Sonnenspectrums, mit Ausnahme einer einzigen, z. B. der rothen Farbe, zu absorbiren, so erscheint uns derselbe in der Beleuchtung des Tageslichtes roth, weil er nur diese Farbe des Spectrums in unser Auge zurückwirft. Wenn dagegen die Oberfläche das Vermögen hat, einige farbige Strahlen, z. B. die rothen und die orangenfarbenen, zu absorbiren, die übrigen aber, also die gelben, grünen und blauen zu reflectiren, so wird die Farbe des Körpers diejenige sein, welche aus der Mischung der nicht absorbirten, zurückgeworfenen Farben hervorgeht. Da nun das Spectrum des weissen Lichtes schon unzählig

viele Farben enthält, so erklärt es sich leicht, dass wir in der Natur so viele verschiedene Farben und zahllose farbige Nuancirungen an den Körpern wahrnehmen.

Wenn ein Körper alle Farben des weissen Lichtes in denselben Verhältnissen, in welchen sie im Spectrum der Sonne vorkommen, zurückzuwerfen vermag, so erscheint er uns im Tageslichte weiss, und zwar um so blendender, je mehr Licht er zurückwirft. In demselben Masse aber, als er weniger Lichtstrahlen aller Gattungen zurückwirft, verliert die weisse Farbe an Intensität; der Körper erscheint grau, dann dunkel und endlich schwarz, wenn alle auffallenden Strahlen absorbirt und keine zurückgeworfen werden.

Diejenigen Körper sind also schwarz, deren Oberfläche so beschaffen ist, dass alle farbigen Strahlen des weissen Lichtes von ihr absorbirt werden; diejenigen sind weiss, welche alle diese Strahlen an der Oberfläche diffundirend zurückwerfen; sie sind farbig, wenn sie einige farbige Strahlen zurückwerfen, andere aber absorbiren.

Ein weisser Körper kann daher in allen Farben erscheinen; fällt rothes Licht auf ihn, so wirft er dieses zu unserem Auge zurück und wir sehen ihn roth; wir sehen ihn blau im blauen Lichte, grün im grünen Lichte u. s. w., wogegen ein schwarzer Körper stets schwarz erscheint, wie auch die Farbe des Lichtes beschaffen sein möge, von welcher er beleuchtet wird.

Wir machen ferner leicht die Wahrnehmung, dass ein farbiger Stoff von einem andersfarbigen Lichte, von welchem er beschienen wird, einen gewissen Farbenton annimmt und dadurch in einer andern, als seiner natürlichen, d. h.

der Tagesbeleuchtung entsprechenden Farbe erscheint. So sehen wir den Zinnober im rothen Lichte nur noch feuriger roth; im orangefarbenen und dem gelben Lichte erscheint er orangen und gelb, aber in einem geringeren Glanze; die grünen Strahlen theilen ihm ebenfalls etwas von ihrem Farbentone mit, aber da der rothe Farbstoff nur sehr wenig die grünen Strahlen zurückzuwerfen vermag, so ist seine Farbe im grünen Lichte matt und trübe; noch matter und dunkler ist er im blauen Lichte, und im Indigo und im violetten Lichte erscheint er fast ganz schwarz.

Diese Erscheinung erklärt sich durch die Annahme, dass die Oberflächen der farbigen Körper die Eigenschaft haben, die Strahlen einer bestimmten Farbe in weit grösserer Menge zurückzuwerfen, als die der anderen Farben; sie erscheinen daher auch nicht schwarz, wenn man sie mit einem Lichte beleuchtet, welches von ihrer natürlichen Farbe verschieden ist. Man betrachte ein zur Hälfte tief blau, zur Hälfte roth gefärbtes Papier; dasselbe absorbirt von den Strahlen des Lichtes nicht alle Farben, ausser den blauen und rothen; das blaue Stück wirft zwar die blauen, das rothe die rothen Strahlen vorzugsweise und in reichlichster Menge zurück, aber letzteres hat die Fähigkeit, auch noch andere Strahlen in geringer Menge zu diffundiren. Man lasse in einem völlig verdunkelten Zimmer das rein gelbe Licht einer mit Kochsalz imprägnirten Weingeistflamme auf das Papier fallen. Könnten die Farbstoffe des Papiers nur die blauen resp. rothen Strahlen zurückwerfen, so müsste das Papier jetzt schwarz erscheinen, weil die gelben Strahlen des glühenden Natriums absorbirt würden und kein anderes Licht auf das Papier fällt; allein

dieses ist nicht der Fall. Das Papier erscheint nur auf der blauen Hälfte wirklich schwarz, auf der rothen aber immer noch merklich gefärbt und zwar in einer entschieden gelblichen Nuance. Wir schliessen hieraus, dass das blau gefärbte Papier die gelben Strahlen nicht reflectirt, dass aber das rothe Papier allerdings die Fähigkeit hat, einen kleinen Theil des gelben Lichtes zurückzuwerfen. Fast alle farbigen Körper verhalten sich, wie dieses rothe Papier; sie reflectiren vorzugsweise eine einzige Farbe, diejenige nämlich, in welcher sie im Tageslichte erscheinen, vermögen aber auch in geringerer Menge alle übrigen, oder doch einige andere Farben zurückzuwerfen und so je nach der Art der Beleuchtung ihre Farbe zu verändern.

Die Körperfarben sind sehr selten reine oder unzerlegbare Farben, wie es die des Spectrums sind; die meisten sind aus mehreren Farben zusammengesetzt und lassen sich durch das Prisma in ihre Bestandtheile zerlegen. So wenig wir aber im Stande sind, aus der Farbe eines Körpers ohne prismatische Zerlegung vollständig zu erkennen, welche Farben er absorbirt und welche er reflectirt, so wenig können wir aus der Farbe einer Flamme ohne Weiteres auf die Zusammensetzung ihres Lichtes schliessen. Das Licht der Sonne, das Kalklicht, das Magnesiumlicht, das Licht des Leuchtgases, des Petroleums und des Oels erscheint uns mehr oder weniger weiss, und dennoch weichen die Spectra dieser verschiedenen Lichtarten sehr bedeutend von einander ab. Zwar enthalten sie alle die sämmtlichen Spectralfarben von Roth bis zum Violett; aber jede Farbe ist in sehr verschiedenen Graden darin enthalten. In dem Lichte der Gas-, der Oel- und der Kerzen-

flamme ist weniger blau, als in dem der Sonne und des Kalklichtes, und das violette Licht fehlt darin noch weit mehr. Wenn daher ein blau gefärbter Stoff von dem Lichte einer Kerze oder einer Lampe oder auch einer Gasflamme beleuchtet wird, so reflectirt er weniger Blau, als wenn das Tageslicht ihn beleuchtet; seine Farbe wird nicht bloss matt und stumpf, sondern hat auch wegen des nunmehrigen Ueberwiegens des Gelb oft einen Stich in das Grünliche. Ueberhaupt erhält das Blau und das Violett im Kerzenlichte, in welchem diese Farben relativ schwächer vertreten sind, als im Sonnenlichte, eine Neigung zum Grün, und zwar je nach der Natur der Pigmente in so hohem Grade, dass sich manche Arten des Grün von manchen Arten des Blau bei Licht kaum unterscheiden lassen.

32. Phosphorescenzfarben.

An das über die Körperfarben Gesagte wollen wir noch einige Worte über eine andere Classe von Farben anschliessen, die, obgleich weniger bekannt, doch unsere Aufmerksamkeit in hohem Grade verdienen und geeignet sind, unsere Vorstellung über die Natur des Lichtes und der Farben zu ergänzen.

Lange vor der Entdeckung des Phosphors kannte man eine Menge von Körpern, welche die Fähigkeit besitzen, im Finstern zu leuchten, ohne zugleich merkbare Wärme zu entwickeln. Hierhin gehörten faulendes Holz, todte aber noch nicht in Fäulniss übergegangene Seefische, Leuchtthierchen der verschiedensten Art, mehrere Mine-

ralien, nachdem sie vorher den Sonnenstrahlen ausgesetzt waren, wieder andere, wenn sie einen Stoss erhalten oder stark gerieben waren. Man nannte diese Substanzen Phosphore oder Lichtträger, und der von dem Hamburger Chemiker Brandt im Jahre 1677 entdeckte Phosphor erhielt wegen ebenderselben Eigenschaft seinen Namen. Die Ursache dieser Erscheinung ist nicht immer dieselbe; bei dem Phosphor, dem faulen Holze, den todten Thieren ist die Lichtentwicklung ohne Zweifel die Folge der chemischen Zersetzung und der damit verbundenen langsamen Verbrennung; bei den lebenden Thieren kennen wir die nähere Ursache nicht; wir wissen nur, dass der Wille des Thieres dabei eine Rolle spielt und dass eine gewisse Temperatur, so wie die Anwesenheit von Sauerstoff dazu erforderlich ist.

Daneben steht nun die Erscheinung, dass gewisse organische und mineralische Substanzen, nachdem man sie einige Zeit der Einwirkung der Sonnenstrahlen oder eines anderen kräftigen Lichtes ausgesetzt hat, sofort selbstleuchtend werden und eine Zeit lang fortfahren, in der Dunkelheit zu leuchten. Die Stärke dieser Leuchtkraft und die Farbe des Lichtes, welches solche Substanzen aussenden, hängt von der Natur, der chemischen und physikalischen Constitution der Substanz und von ihrer Temperatur ab; ebenso variirt die Dauer des Selbstleuchtens für die verschiedenen Stoffe zwischen Bruchtheilen einer Secunde und mehreren Stunden. Die Gesammtheit dieser Erscheinungen umfasst man mit dem Namen der Phosphorescenz.

Die Zahl der phosphorescirenden Substanzen ist sehr

gross, aber die meisten zeigen diese Erscheinungen nur in schwachem Grade. Nach den Untersuchungen Becquerel's ist die Farbe des Phosphorescenzlichtes unabhängig von dem Lichte, mit welchem der Körper beleuchtet wird; gleichwohl üben die verschiedenen Farben des Sonnenspectrums einen sehr ungleichen Einfluss auf dasselbe aus. Unter allen Stoffen sind die Verbindungen des Schwefels mit dem Zink, dem Strontium, Barium und Calcium für die Phosphorescenz besonders empfindlich, und jede einzelne derselben kann je nach der Temperatur und der Art und Weise, wie sie chemisch dargestellt wird, jede Farbe des Spectrums ausstrahlen.

Um die Wirkung der Phosphorescenz mit völliger Bestimmtheit wahrzunehmen, muss der Beobachter vorher einige Minuten im Dunkeln verweilen, damit das Auge auch für das schwächere Licht empfindlich werde; alsdann lässt man das Tageslicht oder das Licht einer andern intensiven Lichtquelle, z. B. elektrisches-, Drummond'sches- oder Magnesiumlicht auf die phosphorescirende Substanz derart einfallen, dass dasselbe das Auge des Beobachters möglichst wenig trifft; nach einigen Secunden wird dann die Substanz activ und fährt, nachdem das erregende Licht erloschen ist, eine Zeit lang fort in einer bestimmten Farbe mit eigenem Lichte zu leuchten.

Erscheinungen dieser Art lassen sich bequem durch eine Reihe von Glasröhren anschaulich machen, die mit den genannten Stoffen gefüllt sind. Im Tageslichte oder beim Lichte der Gasflammen, erscheinen diese gepulverten Substanzen weiss, gelblich oder grau. Einige dieser Röhren (Fig. 46) sind luftleer gemacht und an den Enden mit

eingeschmolzenen Platindrähten *A*, *B* versehen, um sie zwischen die Drähte irgend eines elektrischen Funkenerzeugers, einer Leydener Flasche, eines Ruhmkorff'schen Apparates u. s. w. einzuschalten und eine Reihe von elektrischen Funken hindurchzuleiten. Geschieht dieses in einem dunkeln Raume, so leuchten die in den Röhren enthaltenen Substanzen nach dem Aufhören des Funkenstromes noch eine Zeit lang fort. Statt der elektrischen Funken kann man auch das bereits besprochene intensive Magnesiumlicht anwenden und in einem verdunkelten Zimmer auf die Röhren einfallen lassen. Fünf Secunden

Fig. 46.

Phosphorescenzröhre.

sind mehr als hinreichend, um die Pulver zum Selbstleuchten anzuregen. Sobald das Magnesiumlicht erloschen ist, strahlt aus jeder der Röhren ein sanftes Licht von solcher Intensität aus, dass auch noch in einiger Entfernung die einzelnen Röhren durch die Verschiedenheit der Farben deutlich unterschieden werden können.

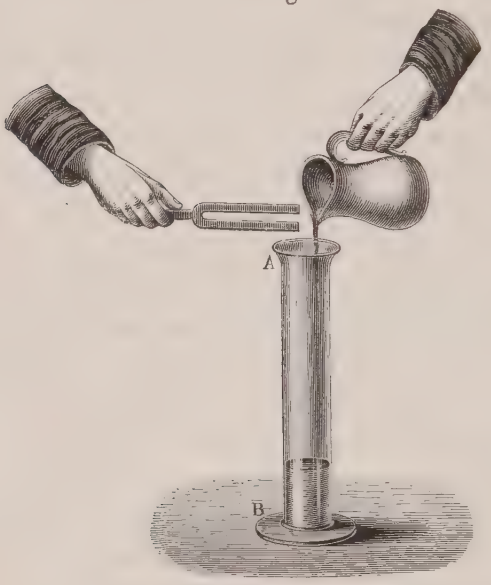
Bei dem Versuche, diese interessanten Erscheinungen zu erklären, muss auf dasjenige zurückgegangen werden, was im Anfange dieser Abtheilung über die Natur des Lichtes und der Farben gesagt worden ist. Wenn die phosphorescirende Substanz selbstthätig Licht ausstrahlen soll, so müssen die Aethertheilchen ihrer Oberfläche in jenen Phasen und mit solcher Geschwindigkeit vibriren,

dass die von dieser Oberfläche ausgehenden und bis zu unserem Auge sich fortpflanzenden Aetherwellen den Eindruck des Lichtes machen können. Die Oscillationsgeschwindigkeit des Aethers darf daher nicht unter eine gewisse Grenze (450 Billion Schwingungen in einer Secunde) herabsinken. Der grosse Einfluss, den die chemische und pkysikalische Beschaffenheit der Substanzen auf den Grad des Phosphorescirens hat, so wie andererseits der Unterschied zwischen der Reflexion und der Phosphorescenz, welche beide aus dem Einfallen eines anregenden Lichtes auf die Oberfläche des Körpers herrühren, nöthigen zu der Annahme, dass bei den phosphorescirenden Stoffen die auf die Oberfläche einfallenden Lichtstrahlen nicht bloss den in ihr enthaltenen Aether, sondern zugleich auch ihre ponderabeln Atome in Oscillation versetzen. Wir begreifen leicht, dass, wenn die Bewegung der einfallenden Lichtwellen sich auf die gewichtigeren Atome einer Substanz überträgt und diese selbst dadurch in die lebhaftesten Schwingungen versetzt werden, die Geschwindigkeit dieser letzeren geringer sein wird, als die des einfallenden Lichtes, so wie auch, dass der zwischen den Atomen befindliche, zu Oscillationen angeregte Aether seine Bewegung mit abnehmender Geschwindigkeit noch eine Zeit lang beibehalten wird, wenn die anregende Ursache bereits aufgehört hat zu wirken. Die Erfahrung bestätigt diese Annahme insofern, als das Phosphorescenzlicht selten dieselbe Farbe hat, wie das einfallende Licht, durch das jenes hervorgerufen wird, und die rascher oscillirenden, brechbareren Strahlen des auffallenden Lichtes fast ohne Ausnahme in der phosphorescirenden Substanz langsamer

vibrirende und weniger brechbare Strahlen hervorrufen.

Wir finden auch hier wieder eine bemerkenswerthe Analogie zwischen dem Lichte und dem Schalle, zwischen den Farben und den Tönen. Es ist eine bekannte Er-

Fig. 47.



Erregung der Luftschwingungen durch die Stimmgabel.

fahrung, dass gewisse tönende Körper, z. B. gespannte Saiten, begrenzte und in Röhren eingeschlossene Luftsäulen, ja sogar nicht selten eine Fensterscheibe durch vorhandene Töne zum Mittönen angeregt werden. Bei genauerer Untersuchung findet man dann, dass das Mitschwingen und in Folge davon das Mittönen dieser Körper besonders dann eintritt, wenn sie vermöge ihrer Form und der sonstigen

zum Tönen erforderlichen Beschaffenheit mit dem tonangebenden Körper in gleichen Phasen oder Perioden schwingen können.

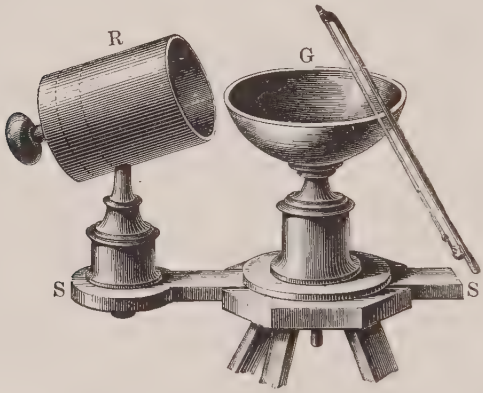
Wird eine grosse, acht Zoll lange Stimmgabel, deren Ton nahe mit dem Tone eines hohlen Glasgefässes *AB*, Fig. 47, übereinstimmt, jedoch etwas höher ist, angeschlagen und dicht über der Mündung des Standglases gehalten, so ist ihr Ton nur sehr wenig vernehmlich. Giesst man dann, um die Luftsäule des Gefässes zu verkürzen, während die schwingende Gabel sich über der Mündung befindet, möglichst geräuschlos etwas Wasser in das Glas, so hört man deutlich, wie der Ton an Stärke zunimmt, und in dem Augenblicke, wo das Gefäss denselben Ton angiebt, wie die Gabel, der vereinigte Ton beider, einer den andern verstärkend, durch einen weiten Raum dringt. Die Schwingungen der Stimmgabel haben die Luftsäule des Gefässes zu gleichartigen und gleichzeitig sich vollziehenden Schwingungen angeregt; unter der Einwirkung der Schwingungen der Gabel ist die Luftsäule selbsttönend geworden.

In bedeutend verstärktem Grade lässt sich dieselbe Erscheinung durch den Savart'schen Resonanzapparat wahrnehmen. Derselbe besteht aus einer volltönenden metallenen Glocke *G*, Fig. 48, und einem Schieber *SS*, welcher die weite, hohle Metallröhre *R* trägt und sammt dieser Röhre in dem Fussgestelle hin- und hergeschoben werden kann. Wird nun mit einem geharzten Bogen einige Mal kräftig über den Rand der Glocke gestrichen, so lässt sich ein reiner, aber nicht eben starker Ton hören. Wird die Röhre näher an die schwingende Glocke herangeschoben, so wird der Ton stärker, und sobald die Röhre dicht an

dem Rande der Glocke steht, dringt ein kräftiger, vollklingender Ton weithin durch den Raum. Zieht man die Röhre wieder so weit zurück, dass selbst ein in der Nähe befindliches Ohr den Ton kaum noch vernehmen kann, und nähert sie dann der Glocke wieder, so tritt der Ton zwar schwächer als vorhin auf, aber immer noch so stark, als ob die Glocke von neuem gestrichen worden wäre.

Die Röhre R ist unten mit einem Einsatzstück ver-

Fig. 48.



Savart's Resonanzröhre.

schlossen und es lässt sich die darin enthaltene Luftsäule durch Verschiebung dieses Stückes in gewissen Grenzen verlängern und verkürzen. Vorhin stimmte der Ton des Rohres mit dem der Glocke ganz überein; wird der Einsatz einige Zoll weit herausgezogen, um die Luftsäule des Rohres zu verlängern, und das Experiment wiederholt, so hat jetzt eine Annäherung der Röhre an die schwingende Glocke nur eine schwache Verstärkung des Tones zur Folge; wird aber die Luftsäule auf die frühere Länge

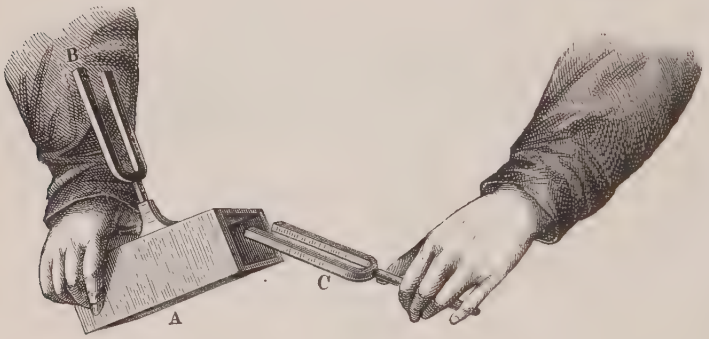
verkürzt, so tritt auch das Mitschwingen derselben mit dem anregenden Tone der Glocke wieder in der vorigen Stärke auf.

Die Tonwellen der Stimmgabel oder der Glocke sind mit den Aetherwellen des einfallenden Lichtes, die ruhende Luftsäule dagegen mit dem ruhenden Aether in der Oberfläche eines Körpers zu vergleichen. Wie die Schwingungen der Gabel oder der Glocke die ruhende Luft zu selbständigen Schwingungen anregen, so versetzen die Aetherwellen des auf einen Körper einfallenden Lichtes den Aether dieses Körpers in selbständige Schwingungen, die, von der Oberfläche des Körpers nach aussen vordringend, das diffuse Licht hervorrufen. In den beiden angestellten Versuchen hörte das Mittönen der Luftsäule sofort auf, wenn der Ton des schwingenden Körpers unterdrückt wurde; ebenso verschwindet das von einem Körper diffundirte Licht in demselben Augenblicke, wo das einfallende Licht beseitigt wird.

Es lässt sich die Analogie zwischen den Tönen und den Farben noch weiter verfolgen. Beleuchtet man gewisse Stoffe mit einem kräftigen Lichte, so wird der Aether und die ponderable Materie ihrer Oberfläche unter Umständen zu so kräftigen Schwingungen angeregt, dass sie von selbst noch eine Zeit lang leuchten (phosphoresciren), auch wenn das anregende Licht aufgehört hat zu wirken. Werden wir auch im Stande sein, eine Stimmgabel oder eine Saite durch die Schwingungen der Luft derart in Oscillation zu versetzen, dass sie von selbst auch dann noch forttönen, wenn die erregende Tonquelle aufgehört hat zu wirken? Unstreitig ja, wie folgender Versuch zeigt.

Die Luftsäule eines hohlen viereckigen Kästchens *A*, Fig. 49, giebt, wenn sie in Schwingungen versetzt wird, denselben Ton, wie zwei genau gleich grosse Stimmgabeln *B* und *C*. Die eine Stimmgabel *B* wird auf das Kästchen geschraubt und die Luftsäule desselben dadurch in Schwingungen versetzt, dass man die andere Stimmgabel *C* kräftig anschlägt und dicht vor die Mündung des Kästchens hält. Der Ton der angeschlagenen Gabel *C* wird

Fig. 49.



Das Nachklingen der erregten Luftschwingungen.

nun durch die Schwingungen der Luftsäule im Kästchen, die sich auch der Gabel *B* mitgetheilt haben, bedeutend verstärkt werden. Unterdrückt man jetzt den Ton der Gabel *C*, indem man ihre beiden Zinken mit der Hand umfasst, so hört man noch immer den Ton, aber offenbar nur den des Kästchens *A* und seiner Gabel. Hier haben wir nicht bloss die Luft des Resonanzkästchens, sondern auch die gewichtigeren Theile des Holzes und der daraufstehenden Stimmgabel durch die Oscillationen der angeschlagenen Stimmgabel zu so kräftigen Schwingungen angeregt, dass

sie noch eine Zeit lang nachtönen, nachdem die Tonerregung aufgehört hat zu wirken.

Es möge hier noch eines Experimentes gedacht werden, das uns die Phosphorescenzfarben, die wir bereits in schwächerem Grade aus den Röhren haben ausstrahlen sehen, in einer andern Form nochmals vorführt. In einem Rahmen befindet sich durch Glas geschützt ein etwa einen Quadratfuss grosses Papier, auf welches sehr stark phosphorescirende Stoffe mittelst eines Paraffinfirnisses derart combinirt aufgetragen sind, dass die verschiedenen sehr glänzenden Farben, welche sie nach vorgängiger Anregung mittelst eines kräftigen Lichtes ausstrahlen, einen grossen Schmetterling darstellen. Man kann die äusseren Umrisse der Phosphore kaum erkennen, weil sie fast alle beinahe farblos sind. Verdunkelt man nun das Zimmer und lässt das Licht einer Magnesiumlampe einige Secunden auf das Tableau und die Phosphore fallen, so sieht man, nach Verlöschung der Lampe, wie in den glänzendsten Farben, hier roth, da gelb, dort blau, der grosse prachtvolle Schmetterling aus dem Rahmen hervorleuchtet. Es dauert viele Minuten, ehe die Farben anfangen zu erbleichen; wenn das Bild sogar an Intensität und Farbenglanz zuzunehmen scheint, so liegt das daran, dass die Augen, anfangs durch den Glanz des Lichtes etwas angegriffen, in der Dunkelheit nach und nach sich erholen und für den Eindruck der schwächeren Phosphorescenzfarben empfindlicher werden. Das Experiment zeigt zugleich, dass wissenschaftliche Demonstration mit der Schönheit der Form und dem Reize der äusseren Darstellung wohl vereinbar ist.

33. Absorption des Lichtes in festen Körpern.

Mit dem Namen der Absorption haben wir bereits früher (Nr. 31) diejenigen Vorgänge bezeichnet, bei welchen das Licht auf seinem Durchgange durch gewisse Medien oder auch an der Oberfläche der Körper theilweise zurückgehalten, geschwächt oder ganz aufgehoben wird. Wir nannten diejenigen Stoffe schwarz, welche alle Arten von farbigen Lichtstrahlen absorbiren und deren Oberfläche kein Licht zurückstrahlt; wir fanden, dass die meisten Stoffe gewisse besondere farbige Strahlen mit grosser Vorliebe absorbiren, für die anderen Farben aber unempfindlich sind, und dass die Ursache dieser Absorption wahrscheinlich darin zu suchen sei, dass die Schwingungen des Aethers an die ponderabelen Körpermolecüle übertragen werden.

Aehnliche Vorgänge treten ein, wenn das weisse Licht durch farbige Gläser hindurchgeht. Wenn alle Einzelheiten einer Landschaft, durch ein rothes Glas gesehen, roth erscheinen, so liegt das daran, dass dieses Glas nur die rothen Lichtstrahlen durchgehen lässt, die nicht rothen Farben aber absorbirt; ein solches Glas ist nur für das rothe Licht durchsichtig, für alle anderen Farben aber undurchsichtig. Aber es giebt nur sehr wenige farbige Gläser, welche sich nur für eine einzige Farbe durchlässig zeigen; die meisten absorbiren gewisse Farben, und lassen alle übrigen in sehr verschiedenen Verhältnissen durchgehen. Das blosse Auge vermag nicht zu erkennen, welche farbige Lichtstrahlen ein gefärbtes Glas durchlässt; erst die Analyse des austretenden Lichtes durch das

Spectroskop oder ein einfaches Prisma kann hierüber Aufschluss geben.

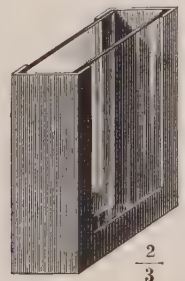
Wenn wir die farbigen Gläser, deren wir uns früher (Nr. 19) bedient haben, um rothe, grüne und blaue Lichtstrahlen zu erhalten, durch das Spectroskop betrachten, so erkennt man sofort, dass das rothe Rubinglas auch noch orangefarbene, ja sogar noch Spuren von gelben Strahlen liefert, die grünen, blauen und violetten Strahlen aber gänzlich absorbirt; das blaue Kobaltglas zeigt ausser den blauen noch ganz deutlich einige violette und grüne Strahlen, absorbirt aber alles rothe Licht. Legt man die beiden Gläser aufeinander und sieht man durch dieselben nach einer Gasflamme hin, so geht fast kein Lichtstrahl hindurch; das rothe Glas absorbirt die grünen, blauen und violetten Strahlen, das blaue dagegen die rothen; es gehen daher nur Spuren von nicht absorbirtem Lichte hindurch und lassen die Gasflamme eben noch in einem matt gelblichen Scheine erkennen. Combinationen von mehreren Gläsern, oder auch einfache Gläser, welche sämmtliche, im weissen Lichte enthaltene farbige Strahlen absorbiren, sind undurchsichtig oder schwarz; vollkommen durchsichtige Gläser, welche das Licht beim Durchgange gar nicht absorbiren, giebt es nicht.

34. Absorption des Lichtes in Flüssigkeiten.

Die Absorptionskraft der gefärbten Flüssigkeiten tritt in den meisten Fällen schon viel entschiedener und ausgeprägter auf, als die der farbigen Gläser. Es ist bis jetzt noch kein Farbstoff gefunden worden, welcher nur

eine einzige Art von farbigen Lichtstrahlen absorbirte oder durchliesse; die Farben der Flüssigkeiten sind daher im weissen Lichte Mischfarben und die Absorption derselben ist je nach der Brechbarkeit des einfallenden Lichtes und insbesondere nach dem Grade der Concentration der Lösung eine sehr verschiedene. Haerlin, Hoppe und Valentin haben eine sehr grosse Zahl der bekannteren Farbstoffe in den Kreis ihrer Untersuchungen gezogen und ermittelt, in welchem Umfange die verschiedenen Concen-

Fig. 50.



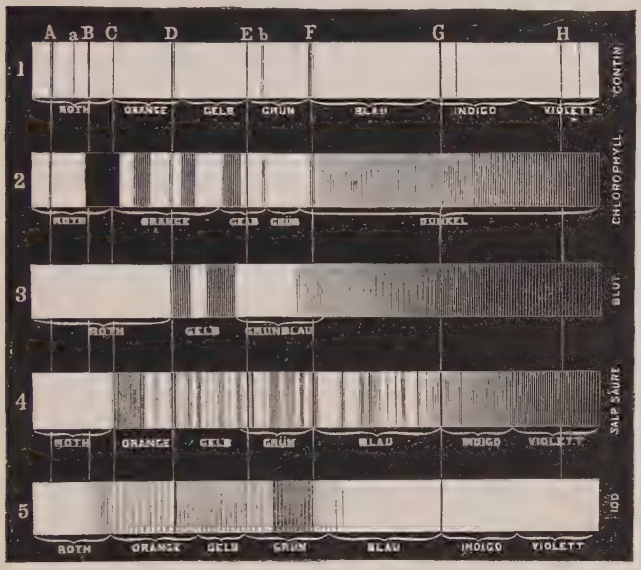
Glasgefäss zu den Absorptionsflüssigkeiten.

trationen ihrer Lösungen auf die einzelnen Theile des continuirlichen Spectrums einwirken.

Wenn man von diesen Absorptionserscheinungen vermittelst der Projicirungsmethode eine Anschauung geben will, empfiehlt es sich, farbige Flüssigkeiten, welche die Absorption in sehr charakteristischer Weise zeigen, z. B. eine ätherische Lösung des Chlorophylls oder des Blattgrüns, oder eine wässerige Lösung des rothen Farbstoffes des menschlichen Blutes, auf das weisse elektrische oder Drummond'sche Licht einwirken zu lassen.

Projicirt man auf die bekannte Weise zuerst ein etwa sechs Fuss langes continuirliches Spectrum des weissen Lichtes und schiebt dann das aus ebenen Glasplatten zusammengesetzte Gefäss (Fig. 50), welches die Chlorophyll-Lösung enthält, in den Gang der Lichtstrahlen ein, so verändert

Fig. 51.



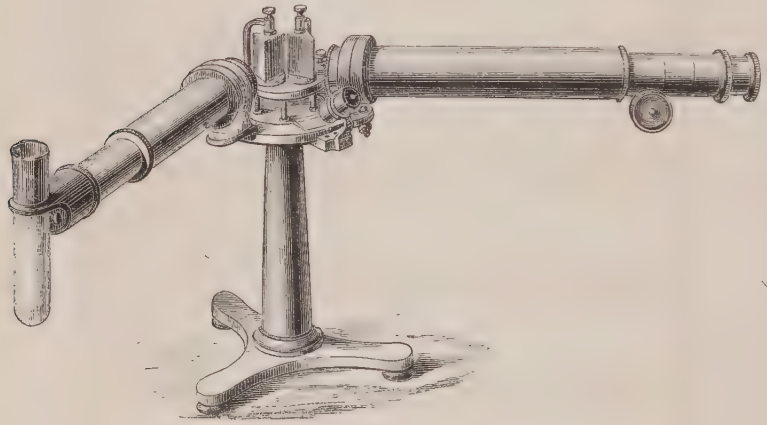
Absorptionsspectra.

sich das Spectrum auf dem Schirme sofort. Sowohl im rothen, als auch im gelben, grünen und violetten Theile entstehen dunkle Bänder (Fig. 51, Nr. 2; Farbentafel Nr. 10) und das Blau weicht einem röthlichen Schimmer; die grüne Chlorophyll-Lösung absorbirt also nicht jede Art von Roth, nicht jede Art von Gelb, sondern nur rothe und gelbe Strahlen von bestimmter Brechbarkeit oder Wellenlänge,

so wie zum grössten Theile das Blau und Violett; die andern Farben des weissen Lichtes lässt sie aber unbehindert durchgehen.

Stellt man an die Stelle des Blattgrüns eine stark verdünnte Lösung von ziemlich frischem, arteriellem Blute, so erscheint das Roth des Spectrums feuriger, dagegen wird das Blau und das Violett grösstentheils ausgelöscht.

Fig. 52.



Absorptions-Beobachtungen.

Fig. 51 Nr. 3 zeigt im Gelb und im Anfang des Grün zwei getrennte dunkle Blutbänder, und zwischen diesen Streifen noch ein geschwächtes Grün.

Weit bestimmter und stärker ausgeprägt zeigen sich diese Erscheinungen, wenn man statt der Projectionsmethode ein Spectroskop anwendet, die gefärbten Flüssigkeiten dicht vor den Spalt desselben stellt und die Spectra nicht aus grosser Entfernung mit einem Papierschirme, sondern direct mit dem Auge auffängt. Man bedient sich

dabei ähnlicher kleiner Glaströge mit planparallelen Wänden, wie sie Fig. 50 zeigt, oder nach Stookes guter Probirgläschen oder Reagircylinder,* welche man mit der zu untersuchenden Flüssigkeit füllt und, wie aus Fig. 52 zu ersehen ist, vermittelst eines auf den Kopf des Spectroskops passenden Tragringes dicht vor den Spalt des Instrumentes schiebt. Stellt man dann vor diese Gläschen ein helles Licht oder richtet man den nicht zu enge gestellten Spalt gegen eine helle Wolke, so erscheint ein helles Spectrum, durchzogen von dunkeln Bändern, die aus der Absorption der Flüssigkeit herrühren.

Die geringsten Aenderungen, welche man, sei es durch chemische Einwirkung, oder durch Verdünnung, oder durch Vergrösserung oder Verkleinerung der Dicke der Flüssigkeitsschicht mit den genannten Farbstoffen vornimmt, ist von einer Aenderung der Absorptionsstreifen begleitet, so dass man in vielen Fällen aus der Lage, Breite und Schwärze dieser dunkeln Bänder auf die Natur des Farbstoffes und die Umstände, die verändernd auf ihn eingewirkt haben, zurückschliessen kann. Die beiden dunkeln Blutbänder entstehen in dem Gelb-Grün des Spectrums des Tageslichtes oder einer Lampe selbst dann, wenn das Wasser, dem ein Minimum von Blut beigemischt ist, kaum eine wahrnehmbare Spur einer gelblichen Färbung hat.

* J. Browning in London verfertigt solche Glasröhrchen und Gefässe in allen erforderlichen Grössen und Formen, insbesondere auch keilförmig geschliffene, um verschieden dicke Schichten einer und derselben Flüssigkeit nach der Reihe leicht untersuchen zu können. Derselbe liefert auch in Glasröhrchen eingeschlossen ganze Serien von Flüssigkeiten, welche die Absorption besonders stark oder in eigenthümlicher Weise zeigen.

Die Spectralanalyse ist hiermit in den Dienst der gerichtlichen Medicin getreten und es ist nicht unwahrscheinlich, dass das Spectroskop, namentlich in Verbindung mit dem Mikroskop,* in manchen Fällen das Vorhandensein von Blut und von Giften selbst da wird nachweisen können, wo das Mikroskop seinen Dienst versagt oder nur unsichere Resultate liefert.

35. Absorption des Lichtes in Gasen.

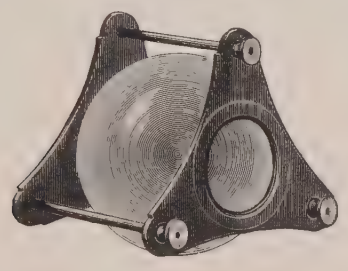
Während die farblosen Gase das Licht bei seinem Durchgange nur an Intensität schwächen, nicht aber den einzelnen Farben gegenüber ein electives Absorptionsvermögen zeigen, die farbigen festen und flüssigen Stoffe dagegen gewisse Farben ganz absorbiren, andere ganz durchlassen und daher im continuirlichen Spectrum vorwiegend breitere und über ganze Farbenfelder sich erstreckende Absorptionsbänder hervorrufen, erzeugen die farbigen Gase hiervon abweichend nur schmale dunkle Streifen, die wie schwarze Linien nicht selten das continuirliche Spectrum in allen Farbengruppen durchziehen.

Um die hierhin gehörigen Absorptionserscheinungen darzustellen, bedient man sich einer Glaskugel (Fig. 53), welche innen matt geschliffen ist und an beiden Seiten

* Sowohl Steinheil in München, als auch J. Browning in London verfertigen Mikrospectroskope, welche, an die Stelle des Oculars gesetzt, gestatten, sowohl das gewöhnliche directe Bild des Objects, als auch das prismatische Bild desselben mit seinen Farben und Absorptionsstreifen zu beobachten und mit bekannten Spectren zu vergleichen. Huggins und Sorby haben sich bereits eingehend mit solchen mikrospectroskopischen Beobachtungen beschäftigt.

durch ebene Platten von Spiegelglas verschlossen werden kann. Die Dämpfe, deren Absorptionskraft man untersuchen will, werden durch eine seitliche Oeffnung in die Kugel eingelassen; sollen sich die Dämpfe erst während des Versuches bilden, so kann man die Substanzen, aus denen jene entwickelt werden sollen, durch Abnahme des Deckels in den Ballon einbringen und die Dämpfe durch vorsichtiges Erhitzen erzeugen. Die Kugel wird unmittel-

Fig. 53.



Glasballon zu den absorbirenden Dämpfen.

bar vor dem Prisma oder dicht vor dem Spalte des Spectroskops so in den Gang der Lichtstrahlen eingeschoben, dass die letzteren senkrecht zu den gläsernen Deckplatten durch das Innere der Kugel hindurchgehen. Um die Absorptionserscheinungen des salpetrigsauren Gases objectiv darzustellen, zündet man zuerst die elektrische Lampe an und erzeugt auf dem Schirme das continuirliche Spectrum des weissen Lichtes. Stellt man dann den mit den rothen Dämpfen der salpetrigen Säure* gefüllten Bal-

* Am einfachsten und reinsten erhält man diese Dämpfe durch Erhitzen von salpetersaurem Bleioxyd; das Erhitzen geschieht ent-

lon in der angegebenen Weise vor das Prisma, so sieht man sofort das Spectrum von einer Reihe dunkeler Streifen durchzogen; das violette Ende des Spectrums aber ist gänzlich verschwunden. Durch fortgesetzes Erwärmen der Dämpfe werden diese Streifen immer dunkler, es treten zugleich immer neue dunkle Streifen hinzu, bis zuletzt, wenn die Temperatur einen gewissen Höhepunkt erreicht hat, alle farbigen Theile des Spectrums absorbirt sind, und keine Spur des elektrischen Lichtes mehr im Stande ist, die Dämpfe zu durchdringen. Brewster hat es sogar dahin gebracht, durch fortgesetztes Erhitzen das genannte Gas vollständig undurchsichtig zu machen, so dass nicht ein Sonnenstrahl durchzudringen vermochte. Die Fig. 51 Nr. 4 (Farbentafel Nr. 9) zeigt Absorptionsspectra der salpetrigen Säure.

Bringt man einige Stückchen Jod in die Glaskugel und erhitzt dieselbe, so verwandelt sich das feste Jod in einen violetten Dampf, durch welchen man dann das elektrische Licht wieder hindurchgehen lassen kann. Die Erscheinung ist jetzt eine ganz andere, als vorhin; bei etwas weiter Spaltöffnung sieht man ein breites Stück vom Anfang des Gelb bis zum Blau aus dem Spectrum ausgeschnitten; macht man aber den Spalt enger, um ein reineres Spectrum zu erhalten, so löst sich das breite dunkle Band in mehrere feinere dunkle Linien auf, welche das Gesammtspectrum vom Roth bis zum Anfange des Blau auf die zierlichste Weise durchsetzen. Betrachtet man dieses Absorptionsspectrum der Joddämpfe mittelst

weder in einem besondern Kölbchen oder mit einiger Vorsicht im Glasballon selbst.

eines Spectroskops, so sieht man den ganzen Raum des Orange und des Gelb von sehr vielen und feinen schwarzen Streifen durchzogen; im Grün werden dieselben so zahlreich, dass sie sich nicht mehr von einander trennen und in einen gleichförmigen Schatten überzugehen scheinen (Fig. 51 Nr. 5). Mit stark vergrössernden Instrumenten lassen sich diese dunkeln Streifen in sehr feine Linien auflösen, die an Zahl und Stärke nach dem mittleren und dunkleren Theile der Streifen zunehmen.

Aehnliche Absorptionsspectra zeigen andere farbige Gase, namentlich die Dämpfe von Brom, von Unterchlorsäure, von Manganhyperchlorid, nach Morren auch von Chlor u. s. w., wogegen wieder andere Dämpfe, wie die des Schwefels und des Selens, obgleich sie farbig sind, doch keine Absorptionsstreifen im Spectrum hervorrufen.

36. Beziehung zwischen Emission und Absorption des Lichtes.

Wenn wir uns daran erinnern, dass die festen Körper im Zustande des Weissglühens eine viel grössere Fülle von Licht ausstrahlen, als die glühenden Gase, dieselben Körper aber auch von dem einfallenden Lichte eine weit grössere Quantität zu absorbiren vermögen, als die Gase, und unter Umständen sogar alles einfallende Licht durch Uebertragung der Aetherschwingungen an die ponderabele Materie absorbiren; wenn wir noch dazu die bekannte Thatsache in Erwägung nehmen, dass gerade diejenigen Körper, welche am leichtesten und am reichsten die Wärme

ausstrahlen, auch am meisten befähigt sind, die Wärme von aussen anzunehmen oder zu absorbiren: so kommen wir leicht zu dem Gedanken, dass überhaupt im Allgemeinen zwischen dem Vermögen eines Körpers, Licht auszustrahlen (Emission) und Licht zu absorbiren (Absorption), ein inniger Zusammenhang, eine bestimmte Reciprocität bestehen müsse. Dass die Temperatur des Körpers auf dieses Verhältniss zwischen seinem Emissions- und Absorptionsvermögen von Einfluss sein müsse, sagen sowohl die Erscheinungen der Gasspectra erster, zweiter und dritter Ordnung (28) als auch die Mannigfaltigkeit der den verschiedenen Temperaturen entsprechenden Absorptionsspectra eines und desselben Stoffes. Schon vor hundert Jahren hatte der berühmte Mathematiker und Physiker Euler in seiner „Theoria lucis et caloris" das Princip ausgesprochen, dass ein jeder Körper Licht von solcher Wellenlänge absorbire, in welcher seine kleinsten Theilchen selbst oscilliren; Foucault erwähnt in seiner 1849 veröffentlichten Arbeit über das Spectrum des elektrischen Lichtes, dass darin in Folge der Unreinheit der angewandten Kohlenspitzen auch die doppelte, intensiv gelbe Natriumlinie auftrete, dass sich aber diese Linie, wenn das Sonnenlicht durch den Flammenbogen geleitet werde, in eine ganz schwarze Linie verwandele; Angström endlich fand im Jahre 1855, dass allgemein die Lichtstrahlen, die von einem Körper absorbirt werden, genau dieselben sind, welche er auch ausstrahlt, wenn er selbst leuchtend gemacht wird.

Aber alle diese Thatsachen standen vereinzelt da und es fehlte der höhere Gesichtspunkt, das physikalische Ge-

Gustav Robert Kirchhoff.

setz, dem die einzelnen Erscheinungen hätten untergeordnet werden können. G. Kirchhoff blieb es vorbehalten, dieses Gesetz aufzufinden und seine Richtigkeit sowohl durch mathematische Beweisführung, als auch durch das Experiment für mehrere einzelne Fälle glänzend zu bestätigen.

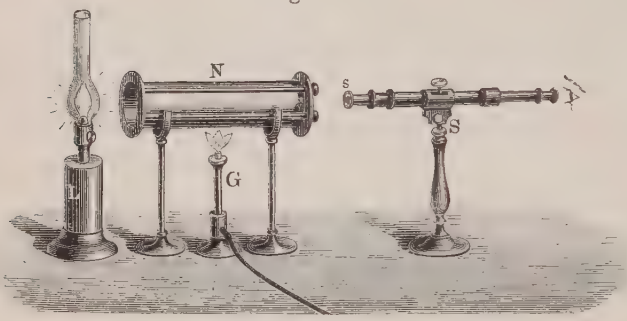
Im Jahre 1860 veröffentlichte er seine Arbeit über das Verhältniss zwischen dem Emissions- und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht, aus welcher der berühmte Satz: „Das Verhältniss zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen einer und derselben Strahlengattung ist für alle Körper bei derselben Temperatur dasselbe," als eines der wichtigsten physikalischen Gesetze für alle Zeiten hervorleuchten und den Namen seines Entdeckers wegen seiner grossen Tragweite und vielseitigen Anwendbarkeit unsterblich machen wird.

37. Die Umkehrung der Gasspectra.

Aus dem Kirchhoff'schen Gesetze ergiebt sich als nächste Folge, dass jedes Gas oder jeder Dampf genau diejenigen Lichtstrahlen (Farben) bei ihrem Durchgange absorbirt und schwächt, welche sie selbst im glühenden Zustande aussenden, während sie für alle anderen farbigen Lichtstrahlen vollkommen durchsichtig sind. Nehmen wir sogleich ein Beispiel. Der glühende Natriumdampf giebt unter den gewöhnlichen Verhältnissen ein aus einer hellen, orangegelben Doppellinie bestehendes Spectrum, er strahlt also nur dieses gelbe Licht aus. Lässt man nun das weisse Licht der Sonne, des elektrischen Flammenbogens

oder des im Knallgase glühenden Kalkes durch Natriumdampf hindurchgehen, so löscht letzterer aus dem weissen Lichte gerade nur diejenigen gelben Strahlen aus, welche er im glühenden Zustande selbst ausstrahlt. Während diese gelben Strahlen zum grössten Theile durch den Natriumdampf absorbirt werden, gehen alle anderen Strahlen, die rothen, orangefarbenen, grünen, blauen und violetten ungeschwächt durch ihn hindurch.

Fig. 54.



Umkehrung der Natriumlinie (direct gesehen mit Spectroskop).

Die Art und Weise, wie Kirchhoff seine Versuche anstellte und wie sich dieselben für solche Fälle, wo man direct in das Spectroskop schauen kann, leicht und sicher wiederholen lassen, zeigt die Fig. 54, wo die einzelnen Theile in derselben Weise wie bei der Darstellung der Absorptionsspectra aufgestellt sind. *L* ist eine Oellampe, deren weisses Licht durch das Prisma des Spectroskops *S* (S. 110) in ein continuirliches Spectrum aller Farbenarten zerlegt wird. Erst nachdem das Ocular des Fernrohrs und der Spalt so regulirt worden ist, dass dieses Spectrum

scharf und klar erscheint, stellt man dicht vor den Spalt *s* ein Glasrohr *N*, aus welchem vorher durch Eintreiben von Wasserstoffgas der Sauerstoff der Luft entfernt worden ist, und welches ausser dem Wasserstoffgase einige Stücke Natriummetall enthält. Man erhitzt sodann das Glasrohr durch eine Spiritus- oder Gaslampe *G*, damit das Natrium verdampfe, und sieht dann bald, dass auf dem leuchtenden Gelb des continuirlichen Spectrums des Oellichtes eine dunkle Linie entsteht, die sich genau an derselben Stelle befindet, wo der glühende Natriumdampf seine orangegelbe Linie erzeugt. Man braucht, um sich hiervon zu überzeugen, an die Stelle des Natriumrohres *N* nur eine Spiritusflamme zu stellen, deren Docht etwas Kochsalz (Chlornatrium) enthält, und das Licht der Lampe zu verdecken; der glühende Natriumdampf erzeugt jetzt genau an derselben Stelle die gelbe Linie, an welcher vorher aus dem continuirlichen Spectrum das gelbe Licht absorbirt war und wo sich die dunkele Linie befand.

In derselben Weise konnten Kirchhoff und Bunsen durch Lithium-, Kalium-, Strontium-, Calcium- und Baryumdampf aus dem continuirlichem Spectrum genau dieselben hellen Farben auslöschen, welche diese Dämpfe selbst in der Glühhitze ausstrahlen. Der glühende Lithiumdampf giebt (Farbentafel 3) für sich allein ein aus einer intensiv rothen und einer schwächeren orangefarbenen Linie bestehendes Spectrum; der Lithiumdampf absorbirt aber auch aus dem weissen Lichte, welches man durch ihn hindurchleitet, genau dieselben Farben. Wiederholt man daher den Kirchhoff'schen Versuch in derselben Weise (Fig. 54) mit Lithium, wie er vorhin für Natrium beschrieben wurde,

so erscheinen auf dem continuirlichen Spectrum des Lampenlichtes zwei ungleich dunkle Linien genau an derselben Stelle, wo das glühende Lithium für sich allein die beiden hellen Linien erzeugt.

Das wichtige Resultat dieser Untersuchungen ist also, dass die charakteristischen hellen Linien des Natriums, des Lithiums u. s. w. in dunkle Linien umgewandelt werden, wenn das intensiv weisse Licht glühender fester oder flüssiger Körper durch die Dämpfe dieser Metalle hindurchgeht. Das Spectrum des glühenden Natriumdampfes ist eine helle orangegelbe (Doppel-) Linie, der übrige Theil des Sehfeldes im Spectroskop erscheint dunkel; das Spectrum des weissglühenden festen oder flüssigen Körpers dagegen erscheint, nachdem es durch Natriumdampf von niedriger Temperatur gegangen ist, im ganzen Sehfelde des Spectroskops farbig, mit Ausnahme derjenigen Stelle, wo sich die dunkle Natriumlinie befindet. Weil daher bei diesen Versuchen die hellen Linien der Gasspectra sich in dunkle Linien verwandeln, dagegen die dunkeln Theile der Gasspectra von dem continuirlichen Spectrum des weissen Lichtes farbig beleuchtet werden, mithin das ganze Gasspectrum in Beziehung auf die Beleuchtung umgekehrt erscheint, so nennt man das ganze Phänomen nach Kirchhoff „die Umkehrung des Spectrums."

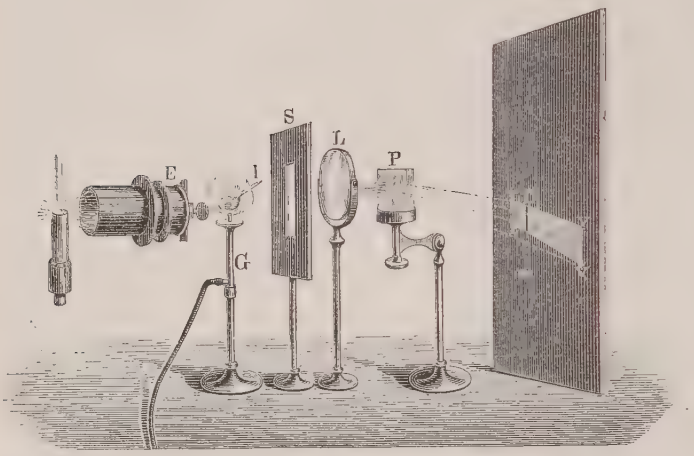
Dass der Unterschied zwischen der Temperatur des glühenden festen oder flüssigen Körpers, welcher das continuirliche Spectrum liefert, und des absorbirenden Dampfes, durch den das weisse Licht dieses Körpers hindurchgeht, auf die Umkehrung des Spectrums vom grössten Einflusse

ist, ja der ganze Vorgang auf dem Verhältnisse zwischen dem Emissions- und dem Absorptionsvermögen des Dampfes beruht und dieses Verhältniss selbst durch die genannte Temperaturdifferenz bedingt ist, hat Kirchhoff überzeugend nachgewiesen. Die Umkehrungsversuche gelingen nur dann, wenn der Unterschied in der Temperatur des glühenden festen Körpers und des absorbirenden Dampfes eine gewisse Grösse erreicht hat; sie gelingen daher um so sicherer, je höher die Temperatur des weissglühenden festen Körpers und je niedriger die des umkehrenden Dampfes ist. Das weisse Licht der Sonne, des elektrischen Flammenbogens, des Drummond'schen Kalklichtes, das Licht eines weissglühenden Platinadrahtes wird sich besonders geeignet zeigen, das Licht der Lampe, von welchem vorhin die Rede war (Fig. 54), zu ersetzen. Will man dagegen anstatt des mit Wasserstoff und Natrium u. s. w. zu füllenden Glasrohres freien Natriumdampf anwenden, wie man ihn durch directes Erhitzen von Natrium in einer Flamme erzeugen kann, so darf man letzteres nicht in einer sehr heissen Flamme verdampfen. Schon der Hitze des Knallgases gegenüber, welche das Kalklicht liefert, ist die Temperatur eines Bunsen'schen Brenners und selbst die der Weingeistflamme zu gross; leitet man dagegen das weisse Licht des glühenden Kalkes durch die wenig heisse Flamme, welche eine Mischung von Weingeist mit möglichst viel Wasser liefert, und bringt etwas Kochsalz in diese Mischung, so zeigt sich in einem guten Spectroskop bei richtiger Spaltöffnung die Natriumlinie schwarz auf dem farbigen Grunde des continuirlichen Kalklichtspectrums. Wendet man aber als Quelle für das weisse Licht den sehr heissen elektrischen

Flammenbogen an, so kann die Umkehrung der Natrium- und Lithiumlinien auch durch Verdampfung dieser Metalle in der Flamme des Bunsen'schen Brenners hervorgebracht werden.

Zur objectiven Darstellung der Umkehrung der Natriumlinie ist das oben erwähnte, Wasserstoffgas und Natrium

Fig. 55.



Umkehrung der Natriumlinie. (Auf dem Schirme projicirt.)

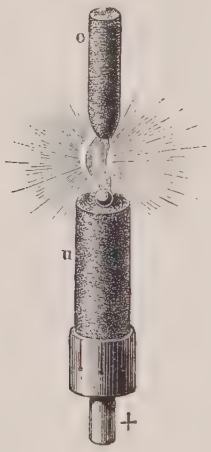
enthaltende Glasrohr weniger geeignet, weil der Natriumdampf nicht dicht genug wird, und die Dämpfe die Glaswände bald verunreinigen;* dagegen kann man den Natriumdampf unbedenklich in einer Gasflamme erzeugen, wenn man als weisses Licht das elektrische Kohlenlicht anwendet.

* Ein reines, Wassertoff und Natrium enthaltendes, an beiden Enden zugeschmolzenes und dicht vor den verticalen Spalt gehaltenes Glasrohr thut bessere Dienste; aber das Rohr springt leicht beim Erhitzen.

Die Kohlenstäbchen werden zu diesem Zwecke vorher mit einer schwachen Kochsalzlösung angefeuchtet und wieder getrocknet. Bildet man dann zuerst auf die bekannte Weise mittelst der elektrischen Lampe und des Prismas ein fünf bis sechs Fuss langes continuirliches Spectrum, so sieht man dasselbe im Gelb von einer hellleuchtenden Natriumlinie durchzogen, deren Stelle man sich durch Beisetzen einer Marke m merkt. Das wenige Natrium, welches an den Kohlenstäbchen hängen geblieben war, ist in der Hitze des elektrischen Lichtes bald verflüchtigt und es erlischt dann die gelbe Linie. Jetzt stellt man den Gasbrenner G (Fig. 55) vor den Spalt der elektrischen Lampe E, so dass die aus dem Spalte der Lampe hervordringenden Strahlen der weissglühenden Kohlen durch die Flamme G gehen müssen. Bevor man das Natrium in die Gasflamme bringt, stellt man noch einen durchbrochenen Schirm S von Pappe vor die Linse L, damit das intensiv gelbe Licht des brennenden Natriums von dem Schirme, auf dem sich das Spectrum befindet, abgehalten werde; alle diese Vorbereitungen üben auf das continuirliche Spectrum rvv_1r_1 des Schirmes keinen Einfluss aus. Bringt man jetzt in einem Platinlöffelchen l ein erbsengrosses Stück Natrium in die Flamme des Gasbrenners, so entzündet sich das Natrium und es bildet sich Natriumdampf in reichlicher Fülle, durch welchen die Strahlen des elektrischen Lichtes hindurchgehen müssen. Auf dem Schirme aber sieht man genau an der markirten Stelle m, wo vorhin die helle Natriumlinie aufblitzte, einen Strich D von intensiver Dunkelheit; der Natriumdampf hat das gelbe Licht von der Brechbarkeit des Natriumlichtes aus

dem weissen Lichte der glühenden Kohlen wenigstens theilweise absorbirt und ausgelöscht. Zieht man das Natrium aus der Gasflamme zurück, so verschwindet die schwarze Linie auf dem Schirme sofort; bringt man es wieder hinein, so erscheint die dunkle Linie von Neuem genau an derselben Stelle. Der Natriumdampf absorbirt also das-

Fig. 56.



Verdampfung des Natriums im elektrischen Lichte.

selbe Licht, dieselben farbigen Strahlen, welche er selbst ausstrahlt, wenn er sich im glühenden Zustande befindet.

Man kann den lehrreichen Versuch der Umkehrung der Natriumlinie noch in einer andern Weise anstellen, die nicht minder wie die vorige geeignet ist, gewisse Erscheinungen im Sonnenspectrum ins rechte Licht zu setzen. Zu diesem Zwecke ersetzt man das untere Kohlenstäbchen der elektrischen Lampe durch einen einen halben Zoll dicken Kohlencylinder, dessen obere Fläche ausgehöhlt ist (Fig. 56),

legt in diese Höhlung ein erbsengrosses Stück Natrium, lässt den Bunsen'schen Gasbrenner *G* und den Pappschirm *S* weg, und im Uebrigen die Stellung der Linse *L*, des Prismas *P* und des Schirmes ungeändert. Um das intensive Glühen der Kohlen und damit zugleich das Auftreten des weissen elektrischen Lichtes zu verhüten, zieht man die beiden Kohlenstäbchen nach ihrem ersten Berühren etwas weiter (auf sechs bis acht Millimeter) von einander, als es sonst zu geschehen pflegt; es bildet sich dann kein continuirliches Spectrum und die Lampe strahlt fast nur das intensiv gelbe Licht des brennenden Natriums aus. Sobald der elektrische Strom hergestellt ist, fängt das Natrium an äusserst heftig zu glühen und man bemerkt auf dem Schirme einen einzigen etwa drei Zoll breiten Streifen von glänzendem Orangegelb, das Spectrum des glühenden Natriums. Aber schon nach wenigen Secunden tritt in der Mitte dieses gelben Streifens eine scharfe, etwa zwei Zoll breite, tief schwarze Linie auf, während der übrige Theil des Gelb erblasst. Die helle gelbe Natriumlinie ist in eine dunkle Linie umgewandelt worden und letztere erhält sich so lange, als die Verbrennung des Natriums in der Lampe andauert.

Die Umkehrung erklärt sich hier leicht auf folgende Weise. Das Natrium kommt zuerst ins lebhafte Glühen und strahlt sein gelbes Licht aus; in den nächsten Secunden aber verdampft ein grosser Theil des Natriums in der Glühhitze des elektrischen Flammenbogens und hüllt den glühenden Kern in eine dichte Wolke von Natriumdampf ein. Das gelbe Licht des glühenden Natriums muss diese Wolke von Natriumdampf durchdringen,

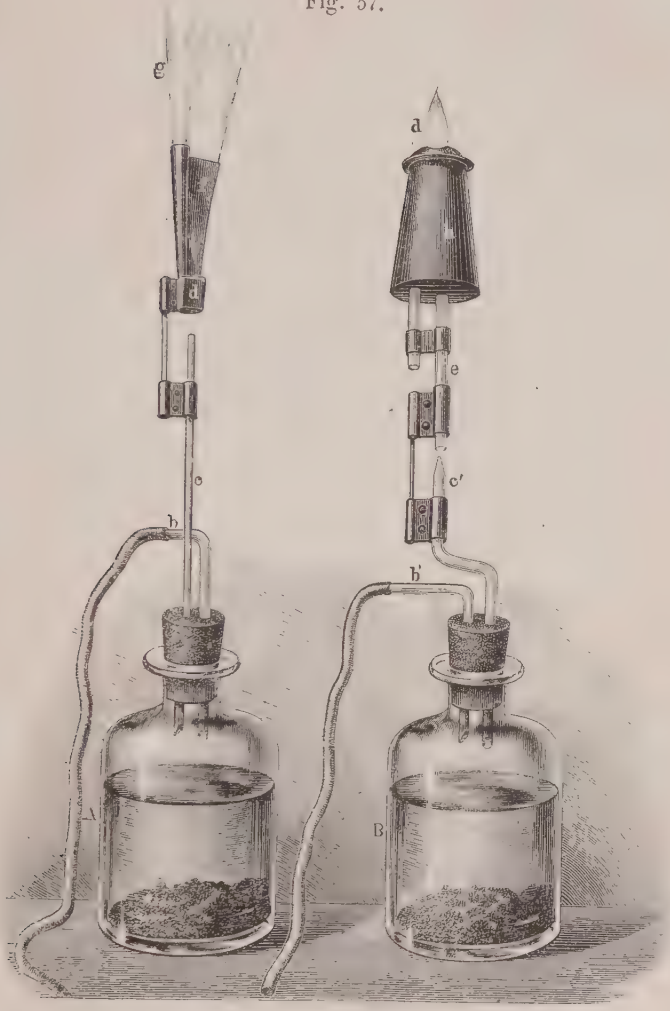
und wird in dieser Natriumdampf-Atmosphäre absorbirt, bevor es zu dem Austrittsspalte der Lampe gelangt. Wir können die Schlussfolgerung wiederholen: Der Natriumdampf absorbirt genau dasselbe Licht, welches das glühende Natrium ausstrahlt.

Auch ohne Anwendung des elektrischen oder Drummond'schen Lichtes lässt sich diese Erscheinung durch folgende von Bunsen angegebene einfache aber sinnreiche Vorrichtung nachweisen. Dieselbe besteht (Fig. 57) aus zwei Flaschen *A*, *B*, in welchen sich Zink und etwas Kochsalz befindet und die mit sehr verdünnter Salzsäure fast ganz angefüllt werden. Jede Flasche ist mit einem doppelt durchbohrten Gummistopfen verschlossen, welche zugleich als Träger der beiden verschieden construirten Gasbrenner dienen.

In der einen Durchbohrung der Lampe *A* befindet sich eine umgebogene Glasröhre *b* zur Einführung von Leuchtgas aus der gewöhnlichen Gasleitung. In der andern Oeffnung befindet sich eine Röhre *c*, welche oben verengt ist und zur Ausströmung dieses Gases dient. Die andere Lampe *B* hat dieselbe Füllung und den Gummistopfen, wie *A*, nur ist hier das Ausströmungsrohr *c'* gebogen und die Ausströmungsöffnung viel kleiner.

Auf jeder dieser Glasröhren *c* und *c'* lässt sich ein aus Eisenblech construirter Brenner auf- und abschieben. Der Brenner *d* der Lampe *A* ist unten cylindrisch und erweitert sich nach oben fächerförmig, so dass er oben einen etwa zwei und einen viertel Zoll langen, aber schmalen, etwas gebogenen Spalt *f* bildet. Der Brenner *e* der Lampe *B* ist cylindrisch und von einem kegelförmigen Schorn-

Fig. 57.



Bunsen's Apparat zur Absorption des Natriumlichtes.

stein *h* überragt, der sich auf *e* hin- und herschieben lässt. Da sich in dem Deckel des Schornsteins eine nur etwa

einen Zoll weite Oeffnung befindet und diese durch Auflegen eines Deckelchens von kleinerer Oeffnung sich noch verkleinern lässt, so bildet sich, wenn man das ausströmende Leuchtgas anzündet, eine kegelförmig zugespitzte Flamme *d*, die man durch Regulirung des Gashahns bis auf etwa einen Zoll hoch herabdrückt. Die Flamme *g* der Lampe *A* dagegen ist wegen der grossen Oeffnung des Ausströmungsrohres *c* und des zusammengedrückten weiten Brenners *df* sehr gross und breit und bildet eine breite hell leuchtende Fläche.

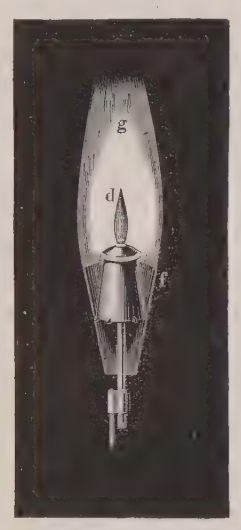
Die Flaschen haben nur den Zweck, dem durch die Einwirkung der Salzsäure auf das Zink sich bildenden Wasserstoffgase etwas Kochsalz (Chlornatrium) beizumengen. Das aufsteigende Wasserstoffgas mengt sich dem Leuchtgase bei, führt das Chlornatrium in die beiden Flammen und erzeugt auf diese Weise das stark orangegelb gefärbte Licht des glühenden Natriums.

Beide Lampen werden, wie aus Fig. 58 ersichtlich ist, sehr nahe zusammengestellt und zwar so, dass die Flamme *g* der Lampe *A* als Hintergrund der Lampe *B* dient. In dieser Zusammenstellung erscheint die kleine Flamme *d*, ungeachtet das helle Licht der Flamme *g* dicht hinter ihr steht, ganz dunkel, rauchig, und wenn alle Verhältnisse durch richtige Stellung der Brenner, der Kamine und der Gashähne gehörig regulirt sind, fast schwarz. Die hintere sehr heisse und intensiv leuchtende Flamme *g* strahlt Natriumlicht aus; die kleine Natriumflamme *d* absorbirt diese durch sie hindurchgehenden Strahlen, und da sie selbst viel weniger leuchtet, als die zu beiden Seiten an ihr vorbeigehenden sehr intensiven Strahlen der Flamme *g*, so er-

scheint sie durch den Contrast auf dem hellen Hintergrunde von *g* dunkel.

Wer ein Spectroskop besitzt, kann den Umkehrungsversuch sehr leicht auf folgende Weise anstellen. Man richtet das Instrument so auf eine Bunsen'sche Gasflamme, dass es von einer Perle Kochsalz, die in die Flamme ge-

Fig. 58.



Absorption der Natriumflamme.

bracht wird, ein scharfes Spectrum, die bekannte orangegelbe Natriumlinie gibt. Alsdann stellt man die nicht leuchtende Gasflamme dicht vor den Spalt unter ein Platin- oder Eisenblech, auf welches ein erbsengrosses Stück frisch abgeschabten, metallischen Natriums gelegt wird. Das Natrium fängt alsbald an zu brennen und man sieht im Spectroskop die äusserst helle, gelbe Natriumlinie; aber

sehr bald erscheint an derselben Stelle eine schwarze Linie, die sich von dem hellen Hintergrunde sehr scharf abhebt. Auch hier wird das hellleuchtende, brennende Natrium von einer Wolke dichten Natriumdampfes umgeben, in welcher die Absorption des gelben Natriumlichtes zum grössten Theile vollzogen wird.

Wir können nun leicht voraussagen, welche Erscheinung sich im Spectroskop zeigen wird, wenn das Licht eines weissglühenden festen oder flüssigen Körpers durch eine weniger heisse Atmosphäre von Dämpfen verschiedener Art, z. B. von Natrium, Lithium, Eisen u. s. w. hindurchgehen muss, bevor es den Spalt des Instrumentes erreicht. Der weissglühende Körper würde ein continuirliches Spectrum erzeugen, wenn sein Licht unterwegs keine Veränderung erlitte; aber in der Dampfatmosphäre, welche seine Lichtstrahlen durchlaufen müssen, absorbirt jeder Dampf gerade diejenigen Strahlen, welche er selbst *glühend* ausgestrahlt haben würde, und löscht dadurch an denjenigen Stellen des continuirlichen Spectrums die Farben aus und setzt *dunkele* Streifen an deren Stelle, wo er für sich allein helle Linien erzeugt haben würde. Das Spectroskop zeigt daher ein continuirliches Spectrum, welches sich vom Roth bis zum Violett durch alle Farbenregionen erstreckt, aber durchzogen ist von schwarzen Linien; die Natriumlinie, die beiden Lithiumlinien, die grosse Anzahl von Eisenlinien u. s. w. erscheinen auf dem farbigen Grunde des continuirlichen Spectrums als ebenso viele *dunkele* Linien.

Spectra dieser Art sind offenbar *Absorptionsspectra*; man nennt sie indessen auch wohl *umgekehrte*

oder zusammengesetze Spectra. Wenn man in einem solchen Spectrum durch Anwendung eines Vergleichsprismas (30) oder einer Scala (27) die völlige Uebereinstimmung der charakteristischen hellen Linien des Gasspectrums irgend eines bestimmen Körpers mit ebenso vielen dunkeln Linien feststellen kann, so wird der Schluss erlaubt sein, dass in der absorbirenden Atmosphäre, welche die dunkeln Linien erzeugt hat, jener Körper in Dampfform enthalten ist. Von welcher Tragweite dieses Resultat der Kirchhoff'schen Entdeckung für die Erforschung der physischen Constitution der Himmelskörper ist, wird die Folge zeigen; wie die einfachen Gasspectra uns die irdischen Stoffe zu erkennen geben, so sind die umgekehrten Gasspectra die Schlüssel zu der Erkenntniss der Materie, aus welcher die Himmelskörper zusammengesetzt sind. Die grossartige Rolle, welche die umgekehrten Spectra in der Analyse der Sternenwelt spielen, mag es rechtfertigen, wenn wir noch eine kurze Zeit bei ihnen verweilen.

Bei einigem Nachdenken wird sich Jeder die Frage stellen, warum denn, wenn auch die schwache Natriumflamme die gelben Lichtstrahlen aus dem intensiven weissen Lichte, welches durch sie hindurchgeht, absorbire, nicht wenigstens die gelben Strahlen eben dieser Flamme die gelbe Natriumlinie wieder herstellen? Eine etwas eingehendere Erörterung aller Umstände, die hierbei mitwirken, wird uns das Material an die Hand geben, um diese Frage vollständig zu beantworten und die Entstehung, so wie die wahre Natur der dunkeln Linien ins volle Licht zu setzen.

Wir wollen die Intensität des weissen Lichtes des

glühenden festen oder flüssigen Körpers, z. B. des elektrischen Lichtes, mit I, die der absorbirenden Flamme, welche wir der Einfachheit wegen als blosse Natriumflamme annehmen wollen, mit i und das Verhältniss zwischen der Absorption und der Emission dieser Flamme mit $\frac{1}{n}$ bezeichnen (d. h. von der gesammten Intensität geht $\frac{1}{n}$ durch Absorption verloren). Wenn dann das weisse Licht I durch die Natriumflamme hindurchgehen muss und daselbst durch Absorption einen Verlust an Intensität von $\frac{I}{n}$ erleidet, so wird im Spectrum an der Stelle, wo die Natriumlinie erscheint und die wir mit D bezeichnen wollen, eine Lichtintensität vorhanden sein gleich $I - \frac{I}{n} + i$. Der Absorptionsbetrag $\frac{I}{n}$ vermindert die Intensität des Spectrums an der D-Stelle, aber die Intensität i der Natriumflamme wird mehr oder weniger diese Bresche wieder ausfüllen. Wenn die Grösse der Absorption genau gleich der Intensität i wäre, so würde die Intensität im Spectrum an der D-Stelle gerade so gross, wie an den benachbarten Stellen sein, und es wäre keine Unterbrechung im Spectrum vorhanden; weder eine helle, noch eine dunkle Linie würde daselbst bemerkbar sein. Wenn die Intensität i der Natriumflamme grösser ist als die Absorption $\frac{I}{n}$, so wird die Helligkeit an der D-Stelle im Spectrum grösser sein, als rechts und links daneben, und es muss sich dann an dieser Stelle eine helle gelbe Natriumlinie abzeichnen, ungeachtet das weisse Licht durch die absorbirende Flamme hindurchgegangen ist; umgekehrt aber muss, wenn die Intensität i dieser Flamme kleiner ist, als die gesammte Absorption, die Helligkeit des Spectrums an der D-Stelle geringer sein als an den benachbarten Stellen. In dem

letzteren Falle aber wird dieser Mangel an Licht durch den Contrast mit den benachbarten helleren Stellen als eine Abdunkelung, und die sonst helle gelbe Natriumlinie als eine dunkle Linie erscheinen.

Wir sehen hieraus ferner, dass an den Stellen, wo die dunkeln Absorptionslinien entstehen, keineswegs alles Licht fehlt, die Linien also auch nicht als völlig schwarze zu bezeichnen sind; aber durch den Contrast mit ihrer Umgebung, wo das volle, ungeschwächte Licht des weissglühenden festen oder flüssigen Körpers hinfällt, können diese dunkeln Linien ganz schwarz erscheinen, selbst dann, wenn ihre Lichtstärke die Intensität des absorbirenden Dampfes übertrifft.

Der ganze Vorgang der Umkehrung einer hellen Spectrallinie in eine dunkle beruht also auf der verhältnissmässigen Grösse der Absorptionskraft und der compensirenden Emissionskraft des absorbirenden Dampfes; je grösser die erstere und je kleiner die letztere ist, je grösser ferner die Lichtstärke des weissglühenden Körpers ist, desto dunkler erscheinen die umgekehrten Linien.

Die nachfolgende Tabelle dient dazu, das Gesagte durch vier Beispiele für die Natriumlinie näher zu erläutern.

Nr.	Die Intensität des weissen Lichtes sei	Die Intensität der Natriumflamme sei	Die Absorptionskraft des Natriumdampfes sei	Die Intensität des Spectrums der Natriumlinie ist dann vor	in	hinter	Die Natriumlinie erscheint also
1	2	1	$^1/_4$	2	$3\text{-}^2/_4 = \mathbf{2^1/_2}$	2	hell
2	10	1	$^1/_4$	10	$11\text{-}^{10}/_4 = \mathbf{8^1/_2}$	10	dunkel
3	100	1	$^1/_2$	100	$101\text{-}^{100}/_2 = \mathbf{51}$	100	noch dunkler
4	100	1	$^3/_4$	100	$101\text{-}^{300}/_4$ **26**	100	sehr dunkel

Im ersteren Falle ist die *D*-Stelle im Spectrum um $^1/_2$ heller, als die benachbarten Stellen, daher erscheint an dieser Stelle eine helle Natriumlinie; bei Nr. 2 ist die Helligkeit der *D*-Stelle nur $8^1/_2$, dagegen zu beiden Seiten 10; bei *D* ist es also nicht so hell, als zur Seite von *D* und diese letztere Stelle erscheint dunkel gegenüber ihrer Begrenzung. Bei Nr. 3 ist der Contrast zwischen der Lichtstärke 51 an der *D*-Stelle und der Lichtstärke 100 an den Seiten noch grösser; bei Nr. 4 endlich, wo die Absorptionskraft der Flamme zu $^3/_4$ angenommen ist, tritt dieser Contrast zwischen den Lichtstärken 100 und 26 so stark hervor, dass die *D*-Linie fast ganz schwarz erscheinen wird. Der Umstand, dass die helle gelbe Natriumlinie, und ebenso die rothe Lithiumlinie äusserst intensiv auftreten, wenn diese Stoffe in einem Bunsen'schen Brenner für sich allein glühen, berechtigt zu dem Schlusse, dass sie auch auf die Lichtstrahlen gleicher Brechbarkeit äusserst stark absorbirend wirken und die angenommene Absorptionskraft $^3/_4$ in dem letzten Beispiele noch hinter der Wirklichkeit zurückbleibt.

Dritte Abtheilung.

Die Spectralanalyse in ihrer Anwendung auf die Himmelskörper.

38. Das Sonnenspectrum und die Fraunhofer'schen Linien.

Das glänzendste Beispiel eines umgekehrten Spectrums liefert uns die Sonne. Richtet man ein gewöhnliches Spectroskop, dessen Fernrohr keine starke Vergrösserung liefert, gegen den hellen Himmel, so erblickt man bei etwas weiterer Spaltöffnung ein prachtvolles, in den schönsten und brillantesten Farben strahlendes, continuirliches Spectrum, ohne helle und ohne dunkle Linien. Macht man aber, um ein möglichst reines Spectrum zu erhalten (22), den Spalt enger und stellt das Ocular des Fernrohrs so scharf als möglich ein, so sieht man in den meisten Spectroskopen dieses nunmehr abgeblasste Spectrum von einer Reihe mehr oder weniger dunkler Linien und nebliger Streifen durchzogen. Wendet man aber, um das Spectrum zu verlängern, mehrere Prismen (23) und eine stärkere Vergrösserung an, so lösen sich die dickeren Linien und die Streifen in einzelne feinere Linien und Liniengruppen auf, die so charakteristisch gruppirt und so scharf ausgeprägt erscheinen, dass sie sich mit Hülfe einer Scala dem Gedächtnisse leicht einprägen und von einander unterscheiden lassen.

Schon im Jahre 1802 hatte Wollaston diese dunklen Streifen im Sonnenspectrum beobachtet und beschrieben; sie wurden später (1814) von Fraunhofer in München genauer untersucht und abgebildet; ihre Entstehungsweise aber und ihre wahre Natur blieb ungeachtet des höchsten Aufwandes von Scharfsinn und der mühevollsten Untersuchungen seitens der berühmtesten Physiker bis zum Jahre 1859, der glänzenden Entdeckung Kirchhoff's, unbekannt.

Fraunhofer konnte etwa sechshundert solcher Linien deutlich von einander unterscheiden; er fand auch, dass dieselben für ein und dasselbe Prisma und Fernrohr im Spectrum immer eine und dieselbe gegenseitige Ordnung und Lage zu einander behalten und daher ganz besonders dazu geeignet sind, für die Angabe einzelner bestimmter farbiger Strahlen und für die Bestimmung der Brechbarkeit von ganz bestimmten Farben als Marken zu dienen.

Um für diese praktischen Zwecke unter den zahllosen Farben des Sonnenspectrums (Farbentafel Nr. 11) bestimmte bezeichnen zu können und überhaupt sich darin auf unzweifelhafte Weise zu orientiren, hat Fraunhofer aus der grossen Zahl der von ihm beobachteten Linien acht charakteristische und leicht erkennbare an den wichtigsten Stellen des Spectrums ausgewählt und sie mit den Buchstaben *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H* bezeichnet; von diesen Linien liegen *A* und *B* im Roth, *C* im Roth nach dem Orange hin, *D* im Orange selbst und bildet bei stärkerer Vergrösserung eine Doppellinie, *E* im Gelb, *F* im Uebergange von Grün zu Blau, *G* im Dunkelbau oder Indigo, *H* im Violett. Ausser diesen Linien ist noch bemer-

kenswerth eine Gruppe *a* von feinen Linien zwischen *A* und *B*, so wie eine aus drei feinen Linien bestehende Gruppe *b* zwischen *E* und *F*.* Ebenso fand schon Fraunhofer, dass die beiden dunkeln, von ihm mit *D* bezeichneten Linien des Sonnenspectrums der Lage nach mit den beiden hellen Linien vollkommen übereinstimmten, welche durch das Licht einer Lampe entstanden und die jetzt als die doppelte Natriumlinie bekannt sind. Nach ihrem Entdecker werden diese dunkeln Linien des Sonnenspectrums die Fraunhofer'schen Linien genannt.

Bei genauer Untersuchung der Sonnenspectra, welche man mit Prismen verschiedener Substanzen erhält, findet man, dass dieselben Farben in den einzelnen Spectren nicht proportionale Längen haben; ein Prisma von Flintglas z. B. giebt verhältnissmässig weniger Roth und mehr Blau und Violett, als ein Prisma von Crownglas. Je grösser für einen Stoff der Unterschied ist zwischen den Brechungsverhältnissen der rothen und der violetten Strahlen, um so stärker wirkt er farbenzerstreuend, um so grösser ist seine Dispersionskraft. Von dieser Dispersion hängt wesentlich die Länge des Spectrums ab und es ist daher nicht gleichgültig, ob man das Sonnenspectrum mittelst eines Prismas von Flintglas, Crownglas, Wasser oder Schwefelkohlenstoff erzeugt.

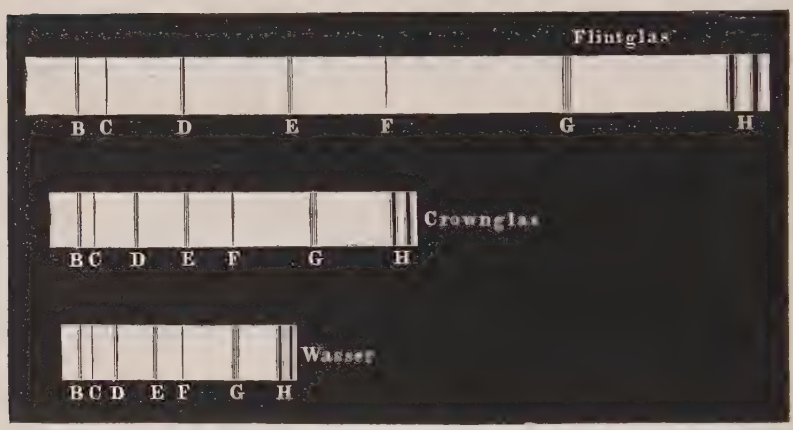
Die Fig. 59 giebt eine klare Vorstellung von der Verschiedenheit der Dispersion verschiedener Substanzen, insbesondere des Flintglases, des Crownglases und des Wassers. Das Spectrum des Flintglasprismas ist ungefähr

* Ein vollständigeres Spectrum des Sonnenlichtes geben wir später.

doppelt so lang als das eines gleich grossen Crownglasprismas, und etwa dreimal so lang als das eines ebenso beschaffenen, mit Wasser gefüllten Prismas. Das Spectrum des Schwefelkohlenstoff-Prismas übertrifft an Länge bei Weitem das des Flintglasprismas, und noch weit grösser ist die Dispersion des Cassiaöls.

Mit der Vergrösserung des Sonnenspectrums wachsen

Fig. 59.



Sonnenspectrum bei Flintglas-, Crownglas- und Wasser-Prisma.

natürlich auch die Abstände der einzelnen Fraunhofer'schen Linien, aber keineswegs in proportionalen Verhältnissen. Wäre z. B. das Spectrum des Flintglasprismas genau doppelt so lang als das des Crownglasprismas, so ist der Abstand zweier dunkler Linien, z. B. der Abstand FB, in dem einen Spectrum nicht genau doppelt so gross, als in dem andern. In dem Wasserspectrum ist $FB = FH$; das Crownglasspectrum ist länger, als das vorige, aber

seine einzelnen durch die Fraunhofer'schen Linien gebildeten Abtheilungen sind nicht in dem gleichen Verhältnisse gewachsen. Während beim Wasserspectrum $FB = FH$ ist, zeigt sich beim Crownglasspectrum FB etwas kleiner als FH; bei dem letztern Prisma ist also das blaue und violette Ende im Vergleich zu den rothen und gelben etwas stärker ausgebreitet als beim Wasserprisma.

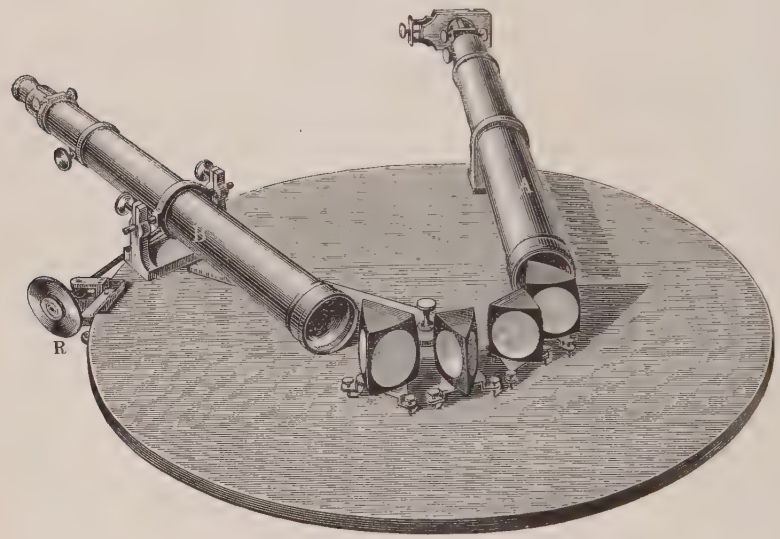
Noch auffallender zeigt sich dieser Unterschied in den beiden Spectren des Wasser- und Flintglasprismas bei gleicher Ablenkung des der Linie B entsprechenden Lichtes; das Verhältniss von FB zu FH ist auch bei dem Flintglasspectrum kleiner als bei dem Wasserspectrum und zwar beträgt diese Differenz hier noch mehr als bei dem Crownglasspectrum.

Man irrt daher, wenn man, wie es zuweilen geschieht, annimmt, dass die Abstände der einzelnen dunkeln Linien im Spectrum sich in demselben Maasse ändern, wie die Gesammtlänge des Spectrums; wenn man auch die totale Dispersion irgend einer Substanz für die äussersten Strahlen oder die Linien B und H kennt, so sind damit die übrigen Linienabstände des Spectrums noch keineswegs bestimmt; dieselben müssen vielmehr für jede brechende Substanz besonders ermittelt werden. Ein jeder Beobachter muss daher die besonderen Verhältnisse seines Spectralapparates vorher genau kennen lernen, bevor er es unternehmen darf, die Resultate der damit angestellten Beobachtungen näher zu deuten; es muss ihm die genaue Lage aller Hauptlinien und Liniengruppen, die ihm das Sonnenspectrum zeigt, bekannt sein, damit er bei der Beobachtung irgend einer Spectrallinie, sei es eines irdischen

Stoffes, oder eines Himmelskörpers, sogleich wenigstens annähernd weiss, welche Fraunhofer'sche Linie sich in ihrer nächsten Nachbarschaft befindet.

Kirchhoff benutzte bei seinen Untersuchungen über das Sonnenspectrum einen ausgezeichneten, von Steinheil

Fig. 60.



Kirchhoff's Spectroskop von Steinheil.

in München construirten Apparat, bei welchem statt eines einzigen Flintglasprismas deren vier angewandt wurden und das Fernrohr eine vierzigmalige Vergrösserung gab. Jedes der vier Prismen (Fig. 60), von denen drei einen brechenden Winkel von 45 Grad hatten, das vierte einen von 60 Grad besass, war auf einen kleinen messingenen Dreifuss gekittet und konnte so auf einer horizontalen eisernen

Platte leicht in die richtige Stellung gebracht werden. Das eine Rohr *A* trug auf dem der Sonne zugekehrten Ende die Spaltvorrichtung mit dem Vergleichsprisma (Fig. 42); das Fernrohr *B*, welches die aus dem letzten Prisma austretenden sehr stark divergirenden Strahlen des Sonnenspectrums empfing, konnte vermittelst einer Mikrometerschraube *R* und einer Kreistheilung gedreht und dadurch der Abstand der einzelnen dunkeln Linien gemessen werden. Bei der Zeichnung des Spectrums bediente sich Kirchhoff einer in Millimeter getheilten Scala mit einem willkürlich gewählten Anfangspunkte; die veröffentlichte Zeichnung selbst umfasst ein Stück des Spectrums, welches von der Linie *D* bis etwas über *F* hinausreicht. Dieses Stück allein nimmt eine Gesammtlänge von nahe vier Fuss ein; die übrigen Theile von *A* bis *D* und von *F* bis *G* sind von Hofmann, einem Schüler Kirchhoff's, mit demselben Instrumente und nach derselben Methode, wie das erste Stück, beobachtet und in einer Länge von ebenfalls vier Fuss gezeichnet worden, so dass das Gesammtspectrum der Sonne uns gegenwärtig in der genauesten Zeichnung auf einer Länge von acht Fuss vorliegt.

Bei dieser schon sehr bedeutenden Ausdehnung ist man jedoch nicht stehen geblieben; Thalén wandte zu dem gleichen Zwecke sechs Flintglasprismen, jedes von 60 Grad an; Gassiot ging bis zu acht, Merz sogar bis zu eilf Glasprismen und Cooke bis zu neun Schwefelkohlenstoff-Prismen. Die Fig. 61 giebt eine Abbildung von einem der grössten Spectroskope, welches von John Browning in London gebaut und von Gassiot auf dem Observatorium zu Kew zur Untersuchung und Zeichnung des Sonnen-

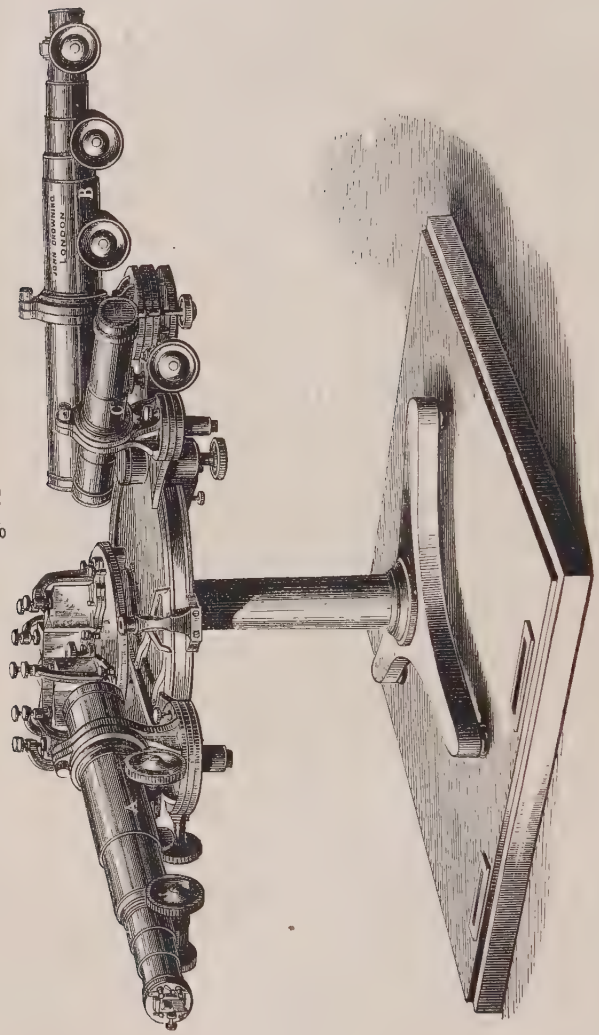


Fig. 61. Grosses Spectroskop der Kew-Sternwarte.

spectrums angewandt worden ist. *A* ist wieder das Einfallrohr mit Collimatorlinse, Spaltvorrichtung und Vergleichs-

prisma; die neun Prismen stehen, wie im Kirchhoff'schen Instrumente, mit Schraubentischchen auf der gemeinsamen Eisenplatte; *B* ist das stark vergrössernde Fernrohr, *C* das die Scala enthaltende Rohr (Vergl. Fig. 38). Der durch den Spalt und das Collimatorrohr *A* auf das erste Prisma einfallende sehr schmale Lichtstrahl durchläuft, wie Fig. 62

Fig. 62.

Gang des Lichtstrahls durch neun Prismen.

zeigt, der Reihe nach sämmtliche neun Prismen und gelangt schliesslich nach seinem Austritte aus dem letzten Prisma als stark zerstreuter Strahl oder als ein lang gezogenes Spectrum in das Fernrohr *B*.

Bei der Anwendung so mächtiger Instrumente löst sich eine Menge dunkeler Linien, welche in kleineren Spectroskopen als einfach erscheinen, in mehrere einzelne Linien auf; die *D*-Linie zertheilt sich schon bei mässiger Ver-

grösserung in zwei sehr feine Linien nebst einem noch weiter zerlegbaren Nebelbande.

In der neuesten Zeit hat Angström das Sonnenspectrum einer Untersuchung unterzogen und gegen tausend dunkle Linien mit der grössten Genauigkeit gemessen. In dem Spectrum dieses Gelehrten sind die dunkeln Linien nicht, wie bei Kirchhoff, nach einer Millimeterscala, sondern nach der Länge der Lichtwelle, welcher die Linie entspricht, eingetragen. Diese Einrichtung hat den grossen Vortheil, dass man aus der Lage einer Linie sogleich die Länge der Aetherwellen erkennt, welche diese Linie erzeugen, und daher auch im Stande ist, aus der beobachteten Verschiebung einer und derselben Spectrallinie auf die Veränderung der Wellenlänge zu schliessen, durch welche diese Verschiebung hervorgerufen worden ist.

Dass bei einer sehr starken Dispersion des Lichtes oder einer sehr grossen Ausbreitung des Spectrums die Intensität einer jeden Farbengruppe bedeutend abnehmen muss, ist von selbst klar. Bei einer hinreichend grossen Anzahl von Prismen kann man sogar das sonst so glänzende Sonnenspectrum fast bis zum Verschwinden bringen, und es ist hiermit, wie wir später sehen werden, ein vortreffliches Mittel gegeben, um bei Beobachtungen des Sonnenrandes das alles überstrahlende weisse Sonnenlicht bis zu jedem erforderlichen Grade abzuschwächen.

39. Coincidenz der dunkeln Fraunhofer'schen Linien mit hellen Spectrallinien der irdischen Stoffe.

Aus der bereits von Fraunhofer beobachteten Coincidenz der beiden von ihm mit *D* bezeichneten dunkeln Linien des Sonnenspectrums mit den beiden hellen Linien, die Kirchhoff und Bunsen als die beiden Natriumlinien erkannten, nahm Ersterer Veranlassung, diese Coincidenz nochmals auf die directeste Weise zu prüfen, indem er ein mässig helles Sonnenspectrum entwarf und dann vor den Spalt des Spectralapparates eine Natriumflamme stellte. „Ich sah dabei," sagt Kirchhoff, „die dunkeln Linien *D* in helle sich verwandeln. Die Bunsen'sche Lampe zeigte die Natriumlinien auf dem Sonnenspectrum mit einer nicht erwarteten Helligkeit. Um zu finden, wie weit die Lichtstärke des Sonnenspectrums sich steigern liesse, ohne dass die Natriumlinien dem Auge verschwänden, liess ich den vollen Sonnenschein durch die Natriumflamme auf den Spalt fallen, und sah zu meiner Verwunderung die dunkeln Linien *D* in ausserordentlicher Stärke hervortreten. Ich ersetzte das Licht der Sonne durch das Drummond'sche Licht, dessen Spectrum, wie das Spectrum eines jeden glühenden, festen oder flüssigen Körpers, keine dunkeln Linien hat; wurde dieses Licht durch eine geeignete Kochsalzflamme geleitet, so zeigten sich in dem Spectrum dunkle Linien an den Orten der Natriumlinien. Dasselbe trat ein, wenn statt des glühenden Kalkcylinders ein Platindraht benutzt wurde, der durch eine Flamme glühend ge-

macht und durch einen elektrischen Strom seinem Schmelzpunkte nahe gebracht war."

Es konnte nach diesen Beobachtungen für Kirchhoff keinem Zweifel mehr unterliegen, dass die dunkeln Linien *D* im Sonnenspectrum ihre Entstehung dem Vorhandensein von Natriumdampf auf der Sonne verdankten, und dass sie auf diesem Himmelskörper durch Umkehrung (Absorption) in gleicher oder in ähnlicher Weise entstanden sein mussten, wie es die angestellten Versuche mit dem irdischen Natrium ergeben hatten.

Nachdem so das Vorhandensein des Natriums auf der Sonne mit grosser Wahrscheinlichkeit vermuthet werden konnte, begann Kirchhoff die mühevolle Arbeit, die Spectra der verschiedenen anderen irdischen Stoffe mit denen des Sonnenlichtes zu vergleichen und zu ermitteln, ob und welche Spectrallinien dieser Stoffe mit Fraunhoferschen Linien coincidirten, d. h. eine gleiche Lage, Breite und Lichtstärke im Spectralapparate zeigten.

Die Methode, welche eine solche Vergleichung zweier Spectra in demselben Instrumente gestattet, haben wir bereits kennen gelernt (30). Kirchhoff liess das Sonnenlicht durch die untere Spalthälfte direct in den Spectralapparat und das erste grosse Prisma fallen, während das kleine Vergleichsprisma die obere Hälfte des Spaltes bedeckte und die Strahlen einer seitlich aufgestellten, künstlichen Lichtquelle durch Reflexion so in das Instrument warf, dass, während in der oberen Hälfte des Gesichtsfeldes im (umkehrenden) Beobachtungsfernrohr das Sonnenspectrum mit den Fraunhofer'schen Linien sich zeigte, in der unteren, im unmittelbaren Anschlusse an

dieses, das Spectrum der künstlichen Lichtquelle zum Vorschein kam. Auf diese Weise liess sich die Lage der hellen Linien dieses letzteren Lichtes zu jenen dunkeln Linien mit grosser Sicherheit beurtheilen.

Als künstliche Lichtquelle dienten fast ausschliesslich die elektrischen Funken eines starken Ruhmkorff'schen Inductors, und als Spitzen, zwischen denen die Funken entstanden, nahm Kirchhoff Drähte von solchen Metallen, die er in der Hitze der Funken zu verflüchtigen und deren Spectrum er zu erzeugen beabsichtigte.

Fig. 63.

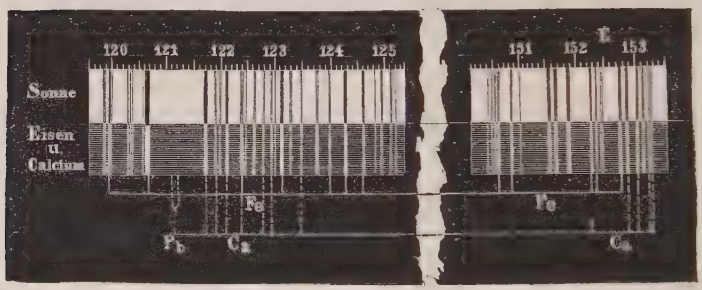
Coincidenz der Fraunhofer'schen *D*-Linien mit den Natriumlinien.

Durch den Vergleich dieser letzteren Spectra mit den dunkeln Linien des Sonnenspectrums kam Kirchhoff zu dem überraschenden Resultate, dass für mehrere Metalle die hellen Linien des Spectrums mit ebenso vielen Linien des Sonnenspectrums vollständig coincidiren.

Die Fig. 63 zeigt dieses Zusammenfallen für die beiden Natriumlinien *D*; der obere Theil ist das zwischen 100 und 101 Millimeter der Kirchhoff'schen Scala liegende orangefarbene Stück des Sonnenspectrums mit den beiden dunkeln *D*-Linien; der untere Theil zeigt die hellen Linien des in dem elektrischen Funken oder in einer Lampe glühenden Natriumlichtes, und beide Linienpaare haben so genau dieselbe Lage, dass die einen die geradlinige Fortsetzung der andern bilden. Zwischen den beiden dunkeln Linien erscheint in sehr guten Spectralapparaten noch eine feine Linie, welche einer hellen Linie des Nickels entspricht.

In der Fig. 64 sind die beiden Stücke des Spectrums dargestellt, welche nach der Kirchhoff'schen Scala zwischen 120 und 125 (im Gelb) und zwischen 150 und 154 (im Grün) liegen. Die unteren 13 hellen Linien, deren Verlängerung mit *Fe* (Ferrum=Eisen) bezeichnet sind, sind Linien des Eisenspectrums; sie fallen mit ebenso vielen dunkeln Linien des Sonnenspectrums scharf zusammen. Die übrigen 12 unteren, in der Verlängerung punktirten hellen Linien sind Linien des Calciumsspectrums, und

Fig. 64.



Coincidenz der Fraunhofer'schen Linien mit den Linien des Eisens und des Calciums.

auch sie entsprechen der Lage nach ebenso vielen dunkeln Linien des Sonnenspectrums. Zwischen diesen dunkeln Linien liegen indessen in der Kirchhoff'schen Zeichnung noch mehrere andere, die zum Theil mit den hellen Linien anderer irdischer Stoffe coincidiren, zum Theil aber auch in anderen Absorptionswirkungen ihren Grund haben.

Schon auf dem von Kirchhoff veröffentlichten Theile des Spectrums kommen einige 60 helle Eisenlinien vor, welche sämmtlich mit dunkeln Fraunhofer'schen Linien

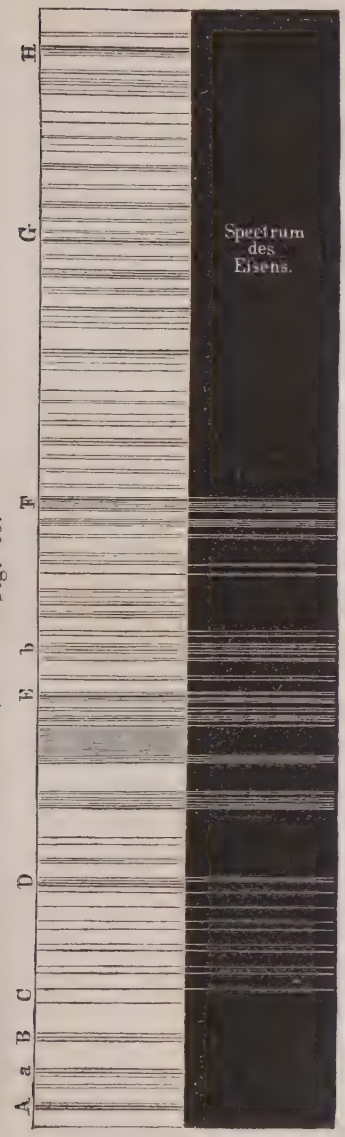


Fig. 65.

Coincidenz des Eisenspectrums mit 65 Fraunhofer'schen Linien.

zusammenfallen; die Fortsetzung von Hofmann enthält deren noch 13 meist sehr ausgezeichnete, und Angström und Thalén, die das Eisen im elektrischen Flammenbogen verdampften, fanden eine Coincidenz von mehr als 460 hellen Eisenlinien mit ebenso vielen Fraunhofer'schen.

Das genaue Zusammenfallen so vieler heller Linien eines und desselben Stoffes mit ebenso vielen dunkeln des Sonnenspectrums schliesst jeden Gedanken, dass dasselbe ein Spiel des Zufalls sein könne, aus. Ein Blick auf die Fig 65, in welcher mehr als 60 von Kirchhoff untersuchte Eisenlinien ihre Coincidenz mit ebenso vielen dunkeln Linien in allen Theilen des Spectrums von *C* bis *F* zeigen, gewährt die Ueberzeugung, dass diese dunkeln Linien nur der absorbirenden Wirkung der in der Sonnenatmosphäre vorhandenen Eisendämpfe zugeschrieben werden können. Die Wahrscheinlich-

keit, dass ein solches Zusammenfallen von 60 Linien Zufall sei, verhält sich zu der Annahme, dass diese Linien wirklich das Vorhandensein von Eisen in der Sonnenatmosphäre bekunden, nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung wie 1 zu 2^{60} oder wie 1 zu 1152930000000000000.

Am entschiedensten spricht sich die Coincidenz der Spectrallinien irdischer Stoffe mit den dunkeln Linien des Sonnenspectrums für Eisen, Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Mangan, Chrom, Nickel und das Wasserstoffgas aus; ihre Spectrallinien stimmen nicht nur mit ebenso vielen dunkeln Linien in der Lage und Breite vollkommen überein, sondern lassen auch in Bezug auf die Lichtintensität ihre Zusammengehörigkeit mit den letzteren deutlich erkennen. Je heller nämlich eine Spectrallinie erscheint, desto dunkler zeigt sich auch die entspechende Fraunhofer'scher Linie.

Eine theilweise Uebereinstimmung zwischen den hellen und dunkeln Linien ergiebt sich für die Spectra der Metalle Zink, Baryum, Kupfer, Kobalt und Gold, für welche nur die hellsten Linien mit dunkeln des Sonnenspectrums coincidiren. Für das Titan-Metall hat Thalén in der neueren Zeit gefunden, dass von seinen 170 hellen Linien der grösste Theil mit dunkeln Fraunhofer'schen Linien zusammenfällt; seine Untersuchungen, die sich über 45 Metalle erstrecken, bestätigen ausserdem die Angaben und Zeichnungen Kirchhoff's vollständig.

Gar keine Uebereinstimmung mit Fraunhofer'schen Linien zeigen die Spectra der Metalle Silber, Quecksilber, Antimon, Arsen, Zinn, Blei, Kadmium, Aluminium, Strontium und Lithium; das Gleiche gilt für die zwei nicht metallischen Stoffe Silicium und Sauerstoff.

40. Kirchhoff's Ansicht über die physische Beschaffenheit der Sonne.

Man hatte lange angenommen, dass die Lücken im farbigen Sonnenspectrum, die dunkeln Fraunhofer'schen Linien, durch eine Absorption der ihnen entsprechenden farbigen Strahlen in der Sonnenatmosphäre entständen; aber Niemand wusste davon den Grund anzugeben. Kirchhoff fand die Ursache dieser Absorption; er wies nach, dass ein Dampf aus dem weissen Lichte genau dieselben Strahlen absorbirt, die er glühend selbst ausstrahlt, und dass das gesammte System der Fraunhofer'schen Linien zum grossen Theile aus der Ueberlagerung von umgekehrten Spectren solcher Stoffe besteht, die auch auf der Erde vorkommen. So gelangte dieser Gelehrte zu einer neuen Anschauung über die physische Beschaffenheit der Sonne, die mit der älteren zur Erklärung der Sonnenflecke angenommenen Hypothese von William Herschel im geraden Gegensatze stand.

Nach Kirchhoff besteht die Sonne aus einem festen oder tropfbar flüssigen, in der höchsten Glühhitze befindlichen Kerne, welcher, wie alle weissglühenden festen oder flüssigen Körper, alle möglichen Arten von Lichtstrahlen aussendet und daher für sich allein ein continuirliches Spectrum ohne dunkle Linien geben würde. Dieser weissglühende centrale Kern ist mit einer Atmosphäre von niedrigerer Temperatur umgeben, in welcher sich wegen der hohen Hitze des Kerns viele Stoffe, aus denen letzterer zusammengesetzt ist, in Form von Dämpfen befinden. Die von dem Kerne ausgehenden Lichtstrahlen müssen daher, bevor sie zu uns gelangen, durch diese Atmosphäre hin-

durchgehen, und jeder Dampf löscht aus dem weissen Lichte alle Strahlen aus, welche er im glühenden Zustande selbst ausstrahlen kann. Nun aber finden wir, wenn wir das zu uns kommende Sonnenlicht durch ein Prisma analysiren, eine Menge von Strahlen aus diesem Lichte ausgelöscht, und zwar genau diejenigen, welche u. A. das Natrium, das Eisen, das Calcium u. s. w. selbst ausstrahlen würden, wenn sie für sich allein leuchtend wären; folglich müssen die Dämpfe dieser Stoffe, Natrium, Eisen, Kalium, Calcium, Baryum, Magnesium, Mangan, Titan, Chrom, Nickel, Kobalt, Wasserstoffgas, und wahrscheinlich auch Zink, Kupfer und Gold in der Sonnenatmosphäre und daher auf dem Sonnenkörper überhaupt vorhanden sein. Nach den Untersuchungen von Angström fällt von den nachstehenden Stoffen die beigesetzte Anzahl von hellen Linien mit ebenso vielen Fraunhofer'schen Linien des Sonnenspectrums zusammen: Natrium 9, Eisen 450, Calcium 75, Baryum 11, Magnesium 4, Mangan 57, Titan 118, Chrom 18, Nickel 33, Kobalt 19, Wasserstoff 4, Aluminium 2, Zink 2, Kupfer 7.

Es erscheint hiernach unzweifelhaft, dass die Substanzen, welche den Sonnenkörper bilden, dieselben sind, wie die, welche die Erde zusammensetzen. Wenn zwischen *F* und *G* einige starke dunkle Linien vorkommen, deren Ursprung noch unbekannt ist, so wäre ein Schluss, dass diese Linien von Stoffen herrühren, die der Erde fremd sind, sicherlich übereilt.

Könnten wir das weisse Licht des centralen Sonnenkerns auf irgend eine Weise beseitigen, und nur das Licht der in der Sonnenatmosphäre glühenden Dämpfe mit dem

Spalte des Spectralapparates auffangen, so müssten wir die Uebereinanderlagerung der wirklichen Spectra der genannten Stoffe, d. h. dieselben Systeme von farbigen Linien erhalten, die wir nun als dunkle Fraunhofer'sche Linien wahrnehmen. Es ist dieses ein Prüfstein für die Kirchhoff'sche Theorie, welcher sich bei dem Eintreten einer totalen Sonnenfinsterniss anwenden lässt; die Mondscheibe verdeckt dann der Erde den Anblick der Sonnenscheibe vollständig; das Licht des Sonnenkerns kann nicht mehr zu uns gelangen, wohl aber das der Sonnenatmosphäre und der darin glühenden Dämpfe, welche den Kern umgeben.

Die Resultate der am 18. August 1868 beobachteten Sonnenfinsterniss haben den gehegten Erwartungen nicht vollständig entsprochen. In dem Augenblicke, wo mit dem Verschwinden des letzten Sonnenstrahls die totale Verfinsterung begann, verschwanden allerdings die Fraunhofer'schen Linien sofort, aber es traten nicht die hellen Liniensysteme an ihre Stelle ein, welche als die Spectra der in der nicht verdeckten Sonnenatmosphäre glühenden Dämpfe erwartet wurden.

Es würde jedoch voreilig sein, wenn man aus diesen negativen Ergebnissen einen Schluss gegen die Kirchhoff'sche Theorie ableiten wollte; denn der Gedanke liegt nahe, dass die dampfförmige Sonnenatmosphäre nicht denjenigen Grad von Hitze habe, welcher zur Erzeugung eines intensiven Lichtes und zur Bildung von Gasspectren aus einer so ungeheuren Entfernung (20 Millionen Meilen) überhaupt erforderlich ist; die grosse Dunkelheit und die tiefe Schwärze vieler Fraunhofer'scher Linien berechtigt ja zu dem Schlusse,

dass die Differenz zwischen den Temperaturen des Sonnenkerns und der ihn umgebenden absorbirenden Dampfatmosphäre sehr bedeutend sein müsse. Und sollte sich schliesslich aus andern Gründen ergeben, dass die Annahme eines festen oder flüssigen glühenden Sonnenkerns nicht statthaft sei, so bleibt doch die Kirchhoff'sche Erklärung der Fraunhofer'schen Linien und der Nachweis des Vorhandenseins von solchen Elementen in der Sonne, wie sie auch auf der Erde vorkommen, im Wesentlichen unangefochten. Mag auch der Sonnenkern, wie der französiche Astronom Faye annimmt, nicht fest oder flüssig, sondern dampf- oder gasförmig sein, so unterliegt es doch keinem Zweifel, dass entweder der Gasball selbst in Folge der ungeheuren Hitze weissglühend ist und dann, wie Frankland und Deville in Uebereinstimmung mit de La Rue, Stewart und Loewy gezeigt haben, ebenso wohl wie die festen und flüssigen Körper alle Arten von farbigen Strahlen ausstrahlt,* von denen die den Fraunhofer'schen Linien entsprechenden in den äusseren weniger heissen Schichten absorbirt werden, oder dass der nicht leuchtende Gasball von einer in Condensation begriffenen, wolkenartigen, ungemein heissen und das weisse Sonnenlicht ausstrahlenden Nebelschicht, einer sogenannten Photosphäre

* Nach den neuesten Untersuchungen von Wüllner und Bettendorff wird selbst das Spectrum des Wasserstoffgases bei hinreichend hohem Drucke (schon bei drei Atmosphären) ganz continuirlich, wie das Spectrum eines glühenden festen Körpers, nur mit anders vertheilter Helligkeit. Sauerstoff und Stickstoff zeigten unter diesen Umständen zwar auch ein continuirliches Spectrum; auf demselben blieben jedoch noch die hellen Linien der Spectra II. Ordnung mit steigender Helligkeit sichtbar.

umgeben sein muss, in welcher dann zugleich von den darin befindlichen Dämpfen die Absorption in derselben Weise bewirkt wird, wie wir dieses bei dem directen Glühen und Verdampfen des Natriums in dem elektrischen Lichte (S. 164) vor sich haben gehen sehen.

Welche Ansicht daher auch über die physische Beschaffenheit des Sonnenkörpers im Laufe der Zeit sich Bahn brechen möge, sie wird stets die Kirchhoff'schen Entdeckungen zur Grundlage haben, und in ihren Einzelheiten, der Erklärung der Sonnenflecke, der Fackeln, der Protuberanzen u. s. w. mit den von Kirchhoff nachgewiesenen Erscheinungen der Absorption der Farben und der Umkehrung der Spectra im Einklang stehen müssen.

41. Die Erdlinien im Sonnenspectrum.

Schon im Jahre 1863 fanden Brewster und Gladstone, dass in dem Sonnenspectrum neue dunkle Linien und Streifen auftreten, wenn die Sonne sich dem Horizonte nähert, und dass gewisse Streifen sich gegen Abend und am Morgen stärker markiren, als zur Mittagszeit, wo die Sonne hoch am Himmel steht. Da bei einem niedrigen Stande der Sonne (im Winter und des Morgens oder Abends) ihre Strahlen dickere Luftschichten durchziehen müssen, als bei einem höheren Stande, so lag die Vermuthung nahe, dass die Erdatmosphäre, obwohl sie farblos ist, auf die Sonnenstrahlen absorbirend wirke und wie die Dämpfe in demselben Maasse mehr Lichtstrahlen zurückhalte, je dicker und dichter die Schicht ist, welche das Sonnenlicht durchlaufen muss. Seitdem haben die beiden Astronomen

P. Secchi in Rom und Janssen in Paris sich mehrere Jahre lang mit diesem Gegenstande beschäftigt. Secchi sprach gleich anfangs seine Ansicht dahin aus, dass die Entstehung dieser, je nach dem Stande der Sonne, der Stellung des Beobachters und dem Feuchtigkeitsgehalte der Erdatmosphäre sehr veränderlichen, dunkeln Linien der absorbirenden Wirkung des in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfes zuzuschreiben sei und fand diese Annahme auf das vollkommenste bestätigt, als er sein kleines geradliniges Spectroskop mit einem grossen, fünf Prismen enthaltenden Instrumente vertauschte. Wenn die Sonne sich dem Horizonte näherte, so zeigten sich zwischen den beiden bekannten *D*-Linien noch drei Linien und die mittlere derselben auch noch doppelt. Eine Liniengruppe neben den Linien *D*, gegen das Grün hin, war fast nicht sichtbar, wenn die Sonne im Meridiane stand, doch sehr deutlich, wenn sie sich nahe dem Horizonte befand. Der Einfluss des Wetters zeigte sich darin, dass bei hellem Wetter (Nordwind) einige dieser Linien nicht sichtbar waren, die bei trübem Wetter (Südwind) sehr deutlich auftraten. Endlich hat dieser römische Astronom in einer zweitausend Meter entfernten Flamme, so wie in grossen Feuern, die auf Bergen angezündet wurden, bei Regenwetter sehr deutlich dunkle Absorptionslinien beobachtet.

Janssen hielt sich im Jahre 1864 eine Woche lang auf dem Gipfel des Faulhorns in einer Höhe von dreitausend Meter über der Meeresfläche auf und überzeugte sich, dass die genannten veränderlichen dunklen Linien im Sonnenspectrum viel schwächer waren als in der Ebene. Um aber über die absorbirende Ursache ganz ins Klare

zu kommen und namentlich um den Nachweis zu liefern, dass jene Linien wirklich nur von der Erdatmosphäre herrühren, schloss er das Sonnenlicht, welches, bevor es zu uns kommt, durch Millionen Meilen fremdartiger Medien dringen muss, von seinen Untersuchungen aus und operirte mit künstlichem Lichte.

Im October 1864 liess er zu Genf in der Entfernung von einundzwanzigtausend Meter von seinem Beobachtungspunkte einen grossen Haufen Tannenholz anzünden und beobachtete die Flamme mit dem Spectroskop. In der Nähe zeigte das Feuer ein continuirliches Spectrum ohne dunkle Linien, dagegen traten in der genannten Entfernung dieselben dunkeln Linien auf, welche Brewster in dem Spectrum der untergehenden Sonne beobachtet hatte.

Es handelte sich für Janssen jetzt noch darum, näher festzustellen, ob die wahrgenommene atmosphärische Absorption der Luft oder dem darin enthaltenen Wasserdampfe zuzuschreiben sei, eine Untersuchung, die mit ungewöhnlichen Schwierigkeiten verbunden war und erst zu Ende geführt werden konnte, als die Pariser Gasgesellschaft im Jahre 1866 ihm hierzu ihre reichen Mittel zur Disposition stellte.

Ein 118 Fuss langer eiserner Cylinder wurde mittelst Durchtreibens von Wasserdampf unter einem Druck von sieben Atmosphären seiner Luft befreit, mit Dampf angefüllt und an beiden Enden durch starke Spiegelglasplatten geschlossen. Der Cylinder war mit Sägemehl umgeben, um ihn gegen den Wärmeverlust zu schützen, und es waren auch sonst noch Einrichtungen getroffen, um das Condensiren des Dampfes zu verhindern und seine Durch-

sichtigkeit zu erhalten. An dem einen Ende des Cylinders war eine stark leuchtende Flamme (von sechzehn vereinigten Gasbrennern), an dem andern Ende das Spectroskop aufgestellt, so dass die Lichtstrahlen dieser Flamme eine 118 Fuss dicke Schicht Wasserdampf durchlaufen mussten, bevor sie zu dem Spalte des Spectralapparates gelangen konnten. Das Spectrum des Lichtes in der Luft war vollkommen frei von Absorptionslinien; ging aber das Licht durch den mit Dampf gefüllten Cylinder, so traten sofort zwischen dem äussersten Roth und der *D*-Linie Gruppen von dunklen Linien auf, welche denen der untergehenden Sonne ähnlich waren. Es war damit nicht bloss der Beweis geliefert, dass ein grosser Theil der veränderlichen Linien im Sonnenspectrum dem Gehalte der Erdatmosphäre an Wasserdampf zuzuschreiben ist, sondern auch ein Mittel geboten, um die Gegenwart von Wasserdampf auf den Himmelskörpern zu erkennen.

42. Wasserdampf auf der Sonne. — Sonnenflecke und deren Spectrum.

Die weiteren Untersuchungen von Janssen auf dem Gipfel des Aetna, in Palermo und Marseille bestätigten die früheren Beobachtungen von Secchi, dass die Atmosphären der Planeten Jupiter, Venus, Saturn und Mars der Erdatmosphäre ähnlich sind und Wasserdünste enthalten, wenigstens für die beiden letzteren Planeten vollständig; dagegen glaubt derselbe für die Sonne das Vorhandensein von Wasserdampf in Abrede stellen zu müssen.

P. Secchi dagegen, der bereits am 27. Januar d. J.

der Pariser Akademie mittheilte, dass er auf der Sonne Spuren von Wasserdampf glaube gefunden zu haben, hat derselben Akademie am 15. Februar seine neuesten Beobachtungen vorgelegt, nach denen es keinem Zweifel mehr zu unterliegen scheint, dass auch in der Sonnenatmosphäre und zwar stets in der Nähe grosser Sonnenflecke Wasserdampf vorhanden ist.

Es würde uns von unserem Gegenstande zu weit entfernen, wenn wir bei den für die Erkenntniss der physischen Beschaffenheit der Sonne so wichtigen Erscheinungen der Sonnenflecke so lange verweilen würden, als es für eine einigermaassen erschöpfende Mittheilung über ihre Form, ihr Erscheinen und Verschwinden, ihre Bewegung, ihren Zusammenhang mit der Drehung der Sonne um ihre Achse, ihre Periodicität und die Hypothesen über ihre Natur erforderlich wäre; aber wir dürfen andererseits um so weniger stillschweigend darüber weggehen, als die Spectralanalyse sich dieser merkwürdigen Gebilde bereits bemächtigt hat, und zwar mit einem Erfolge, der für die Erkenntniss der Natur der Sonne von grossem Belange ist.

Wir besitzen von Secchi, Nasmyth, Warren de la Rue u. A. eine Reihe vorzüglicher Photographien von solchen Sonnenflecken, welche die einzelnen charakteristischen Formen, in denen sie auftreten, und die sonstigen Umstände, von denen sie begleitet sind, sehr deutlich erkennen lassen. Mittelst der vergrössernden Laterne und unter Anwendung eines intensiven Lichtes lassen sich dieselben auf dem Schirme objectiv und weithin sichtbar darstellen. Ein solcher Fleck (Fig. 66) besteht im Wesentlichen aus einem dunkeln, fast schwarzen Kerne, der von

etwas weniger dunkeln Räumen, Penumbra, Halbschatten oder Hof genannt, umgeben ist. Die dunkeln Kerne selbst haben meist eine unregelmässige Gestalt, und der Halbschatten zeigt sich oft in radialer Richtung nach dem Kerne hin gefaltet.

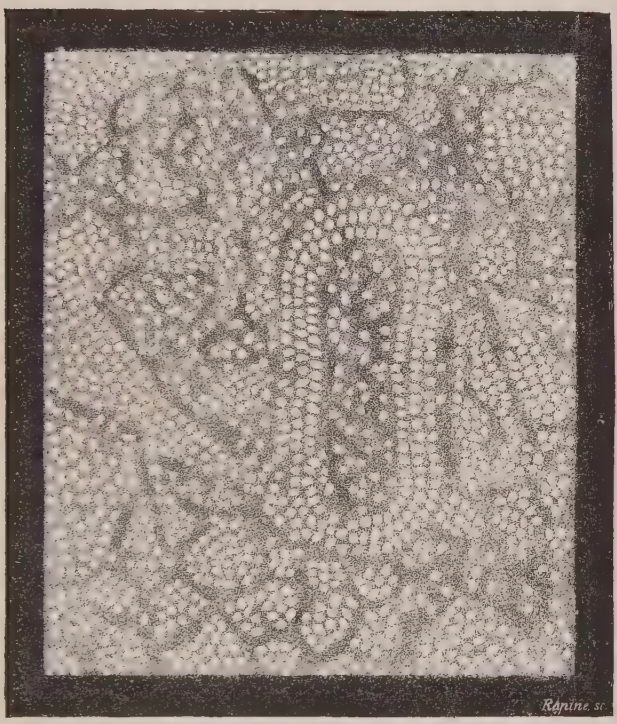
Fig. 66.

Sonnenflecke, durch ein grosses Fernrohr gesehen von P. Secchi zu Rom am 3. April 1858.

Wenn man bei der Beobachtung der Sonne eine starke Vergrösserung anwendet, so erscheint die Oberfläche derselben keineswegs gleichförmig; eine Menge heller und dunkler Streifen durchkreuzen sich nach allen Richtungen

und die leuchtende Oberfläche erscheint wie ein Netz aus hellen Maschen, durchzogen von dunkleren Fäden und kleineren dunklen Poren. Die helleren Theile, Fig. 67, zeigen

Fig. 67.



Poren oder Körnungen auf der Sonnenscheibe, nach W. Huggins.

eine mehr oder weniger längliche Form (vergl. Fig. 71), weshalb Nasmyth ihnen den Namen „Weidenblätter“ gegeben hat; Daves vergleicht sie mit ausgezackten Strohhalmen; Huggins nennt sie einfach Körner.

Auf diesem in stetem Wechsel begriffenen, sehr ungleichförmigen Grunde treten die Flecke in der mannigfaltigsten Gestalt und Grösse auf. Der Halbschatten durchzieht nicht selten an mehreren Stellen den schwarzen Kern, Fig. 68, und erscheint an den äusseren Rändern, die den Fleck von der leuchtenden Sonnenscheibe abgrenzen, meist viel dunkler, als an den übrigen Stellen. Sehr oft durchziehen

Fig. 68.

Sonnenfleck nach Nasmyth mit drei Lichtbrücken.

den Halbschatten mehr oder weniger gebogene helle Linien, welche sich von dem äusseren Umfange nach dem Kern hin erstrecken, in der Regel senkrecht gegen die Conturen des Kerns und des Halbschattens stehen, Fig. 69, und dem Flecke das Ansehen geben, als ob eine Menge von Strömungen irgend einer leuchtenden Materie die dammartigen Halbschatten durchbrochen hätte, um sich in den Abgrund des Kerns zu stürzen.

Ausser den dunkeln Flecken und meist in der Nähe derselben zeigen sich auf der Sonnenoberfläche auch hellere Stellen, Sonnenfackeln genannt. Sie sind in den meisten Fällen die Begleiter von Sonnenflecken und treten an den äussersten Rändern des Halbschattens auf; dass sie aber nicht etwa die Wirkung des Contrastes zwischen dem

Fig. 69.

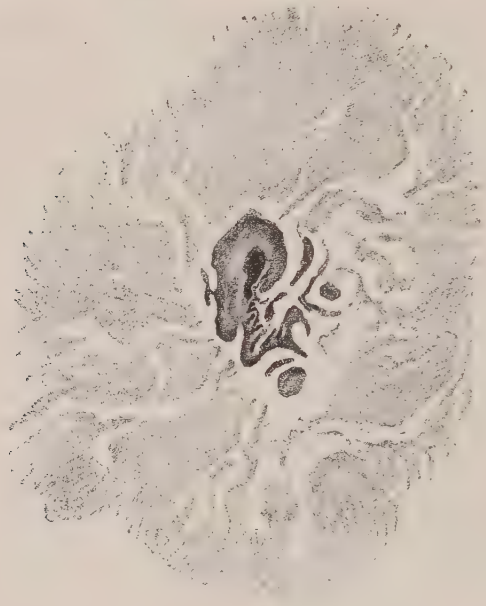
Sonnenflecke nach Capocci — Rillen in dem Halbschatten.

dunkeln Fleck und seiner hellleuchtenden Umgebung sind, beweist der Umstand, dass nicht jeder Fleck seine Fackeln hat, und sehr häufig isolirt stehende Fackeln gesehen werden, welche fast immer die Vorboten eines an diesen Stellen sich bildenden Flecks sind.

Auch die Gestalt der Fackeln ist wie die der Flecke sehr mannigfaltig; meist erscheinen sie in zusammen-

gedrängter, rundlicher Form; oft aber bilden sie lange, aderartig verlaufende Lichtstreifen, Fig. 70, die von allen Seiten in convergirender Richtung nach einem Flecke hinlaufen.

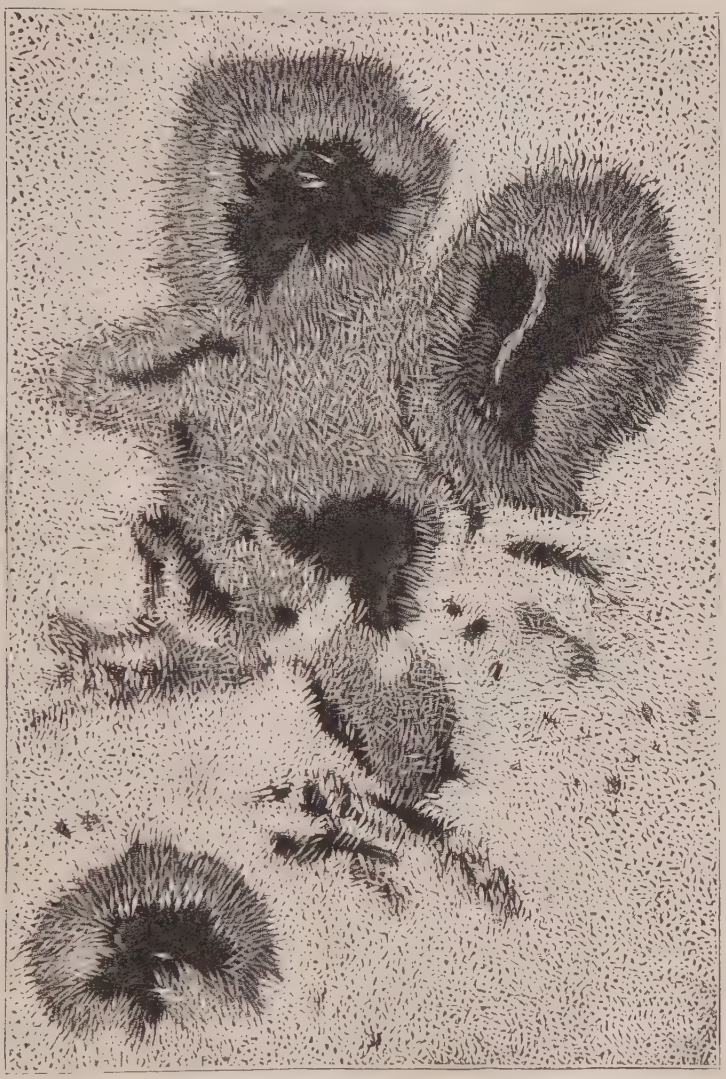
Fig. 70.



Fackeln in der Nähe eines Flecks, nach Chacornac.

Die Fig. 71 ist die Abbildung einer Gruppe von Sonnenflecken, welche Nasmyth am 5. Juni 1864 beobachtet und gezeichnet hat. Man erkennt darin alle Einzelheiten, die ein Fleck darbietet, den schwarzen Kern, die Halbschatten in ihren verschiedenen Formen und in ihrer Zusammensetzung aus den nach dem Kerne gerichteten „Blättern“ und die Umgebung des Flecks oder die

Fig. 71.

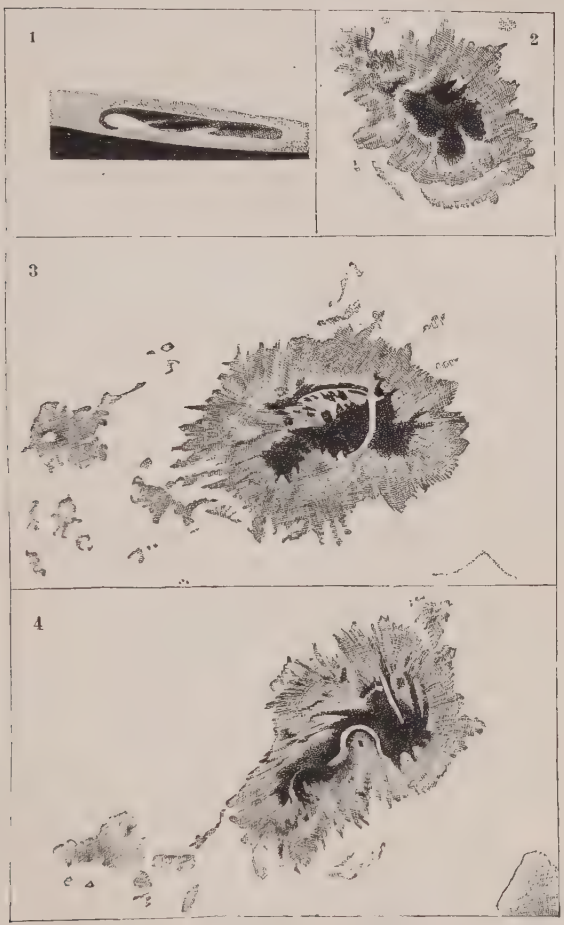


Gruppe von Sonnenflecken, beobachtet und gezeichnet von Nasmyth am 5. Juni 1864.

granulirt aussehende leuchtende Oberfläche der Sonne. Letztere nennt man die Photosphäre, ohne mit dieser Bezeichnung irgend eine bestimmte Ansicht über die physische Beschaffenheit derselben, über ihre Zusammensetzung oder ihren Aggregatzustand zu verbinden. Die Photosphäre ist ganz mit Poren oder mit kleineren Stellen bedeckt, welche weniger leuchten als die übrigen Theile; hier und da machen sich in derselben einzelne grössere Partien bemerkbar: die einen, mit schwarzem Kerne und dunklen Halbschatten, die eigentlichen Sonnenflecke; die anderen, von grösserem Glanze als die umgebenden Theile der Photosphäre, die Sonnenfackeln; letztere begleiten in der Regel die Flecke oder gehen der Bildung eines Flecks voraus.

Wenn man einen Sonnenfleck von Tag zu Tag, oder von Stunde zu Stunde mit dem Fernrohre verfolgt, so erkennt man bald, dass er seine Form verändert; er vergrössert oder verkleinert sich, oder er verschwindet ganz und neue Flecke treten hervor. Bei dem Verschwinden zieht sich zunächst der dunkle Kern immer mehr zusammen und wenn dieser verschwunden ist, sieht man noch eine Zeit lang seinen halbdunkeln Rand. Nicht selten theilt sich ein Fleck in mehrere, oder mehrere vereinigen sich zu einem einzigen, oder, wie Weiss am 12. März 1864 und Haag am 14. April 1869 beobachtet haben, ein Fleck geht über einen andern hinweg, deckt ihn theilweise und zieht sich wieder von demselben zurück; und bei allen diesen Veränderungen zeigen die Flecke einen so hohen Grad von Beweglichkeit, wie man es nur an gasigen, nebelartigen oder wolkigen Massen zu sehen gewohnt ist.

Fig. 72.



Der grosse Sonnenfleck von 1865. (Vom 7. October bis 16. October).

Die grosse Veränderlichkeit eines Sonnenflecks sehen wir aus Nr. 1 bis 4 der Fig. 72, die sich alle auf einen und

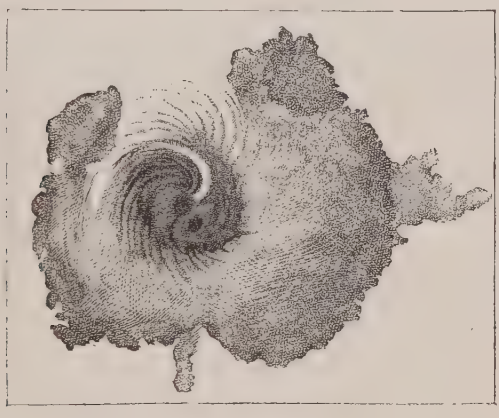
denselben grossen mehr als zehntausend deutsche Quadratmeilen umfassenden Fleck beziehen, der sich im Jahre 1865 auf der Sonne zeigte. Nr. 1 bis 4 zeigen die Gestalt dieses Flecks an den Tagen des 7. October, wo er auf der östlichen (linken) Seite in die Sonnenscheibe eintrat, des 10. October, des 14. October (centrale Ansicht), wo sich bereits eine den Kern theilende Brücke gebildet hatte, und des 16. October.

Kirchhoff, dem sich Professor Spörer, der fleissigste Beobachter der Sonnenflecke, im Laufe seiner Untersuchungen immer mehr und mehr angeschlossen hat, hält diese Gebilde für wolkenartige Condensationen in der Sonnenatmosphäre, welche durch Wärmeausstrahlung in ähnlicher Art entstehen, wie sich in der Erdatmosphäre der Wasserdampf zu Nebel und Wolken gestaltet. Wenn sich solche Wolken über die glühende und leuchtende Sonnenoberfläche erheben, entziehen sie uns an diesen Stellen das Licht der Sonne; es ist dann ganz natürlich, dass sich diese Wolkengebilde, wie sie sich regellos bilden, so auch regellos verdichten oder auflösen, je nachdem sie von wärmeren oder kälteren Gasströmen getroffen werden.

Diejenigen Physiker, welche über die physische Beschaffenheit der Sonne anderer Ansicht sind als Kirchhoff, und, wie Faye, den eigentlichen Sonnenkern für einen nicht leuchtenden Gasball halten, haben auch über die Natur der Sonnenflecke eine andere Ansicht, die im Wesentlichen darauf hinausläuft, dass diese Flecke Risse oder Oeffnungen und Vertiefungen in der den dunkeln Gasball umhüllenden, leuchtenden Photosphäre sind, durch welche man auf den dunkeln Sonnenkörper hinabsieht.

Hat man einmal die Vorstellung, dass ein Sonnenfleck eine Aushöhlung oder eine trichterartige Vertiefung in der Photosphäre sei, in sich aufgenommen, so ist es schwer, sich einer optischen Täuschung zu erwehren, die gar leicht dadurch entsteht, dass man stets geneigt ist, einen dunkeln Fleck auf einem hellen Hintergrunde für ein Loch zu halten. Die Fig. 73 zeigt einen von Secchi in Rom

Fig. 73.



Spiraliger Sonnenfleck, beobachtet von Secchi.

am 5. Mai 1857 beobachteten und gezeichneten Fleck, der einem riesigen Wirbel oder Trichter gleicht, in dessen Innere sich die Materie der Photosphäre wirbelnd hinabzustürzen scheint, eine Vorstellung, die ohne Zweifel aus einer optischen Täuschung hervorgegangen ist und durch keine andere Beobachtung ähnlicher Art unterstützt wird. Warren de la Rue hat von einem und demselben Fleck in einem Zwischenraume von zwei Tagen zwei photogra-

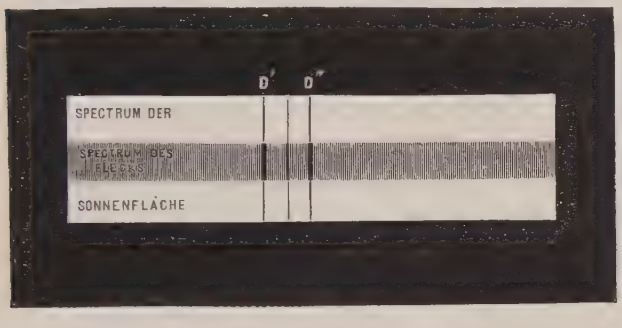
phische Aufnahmen gemacht; legt man diese beiden Bilder, in denen der Fleck offenbar eine Vertiefung nicht bildet, nebeneinander und betrachtet sie in der gewohnten Weise mittelst eines Stereoskops, so erscheint der Fleck dem Auge mit einer merkwürdigen Genauigkeit in der Form eines Trichters. Dagegen scheinen wieder andere photographische Aufnahmen von solchen Flecken, die sich am äussersten Sonnenrande befanden, für das Vorhandensein von wirklichen Vertiefungen in der Photosphäre zu sprechen.

Wir können die Gründe für und wider die Hypothesen von der wolkenartigen oder trichterförmigen Gestalt der Sonnenflecke nicht weiter verfolgen, ohne zunächst die Resultate kennen gelernt zu haben, welche die Spectralanalyse bis jetzt über diese räthselhaften Gebilde geliefert hat.

William Huggins, auf dessen ausgezeichnete Arbeiten in dem Gebiete der Sternspectralanalyse wir später kommen werden, hat am 15. April 1868 das Spectrum eines Sonnenflecks untersucht und dabei in Uebereinstimmung mit früheren Beobachtungen von P. Secchi und Lockyer gefunden, dass trotz der Dunkelheit des Flecks das continuirliche Spectrum der Sonne nicht verschwindet, dagegen viele dunkle Linien an Breite und Dunkelheit zunehmen, wie es für die doppelte *D*-Linie die Fig. 74 zeigt. Neue Linien werden in dem Spectrum des von dem Kerne eines Flecks kommenden Lichtes nicht wahrgenommen, aber es fehlt auch keine einzige Linie des normalen Sonnenspectrums darin; ebenso werden helle Linien darin meist nicht gesehen. Diese Erscheinungen lassen sich mit der Hypothese von Faye, dass der Sonnenkern ein nicht

leuchtender Gasball ist, auf den wir hinabsehen, wenn Gasströme aus dem Sonneninnern aufsteigen und die leuchtende Photosphäre bei Seite drängen, nicht vereinigen; denn wie liesse sich das Nichtverschwinden des continuirlichen Spectrums erklären, wenn mit dem Durchbrechen der Photosphäre der dunkle Gasball zum Vorschein käme, der kein Licht zur Bildung eines Spectrums hergeben kann. Nach der Theorie von Faye müsste ein Sonnenfleck ent-

Fig. 74.



D-Linien im Spectrum des Sonnenflecks.

weder gar kein Spectrum zeigen, oder es müsste, wenn die innersten gasigen Theile des Sonnenballs doch noch einiges Licht ausstrahlten, das Spectrum des Flecks aus hellen Linien bestehen. Beides ist nicht der Fall. Das continuirliche, von den Fraunhofer'schen Linien durchzogene Spectrum des Flecks beweist, dass derselbe noch eine bedeutende Fülle des gewöhnlichen Sonnenlichtes durchstrahlen lässt, und die breiter werdenden dunkeln Linien weisen ganz unzweideutig darauf hin, dass der Fleck eine verstärkte Lichtabsorption erzeugt, und von der Ver-

dichtung eben derselben dampfförmigen Stoffe herrührt, durch deren Absorption die dunkeln Linien in dem gewöhnlichen Sonnenspectrum zu Stande kommen.

Noch bedeutungsvoller sind die neuesten Untersuchungen von Secchi. Als er mit einem grossen Spectroskop die Umgebung einiger grosser Flecke untersuchte, sah er im Roth und im Orange des Spectrums fast immer Gruppen von gleich weit von einander entfernten nebelartigen Streifen in der Zahl 3, 4 oder 6 erscheinen. Diese Streifen verschwanden gewöhnlich, wenn der Spalt des Instrumentes sich von den Flecken entfernte und gegen die reine Sonnenscheibe gerichtet wurde; ihr Auftreten im Instrument war stets ein sicheres Zeichen von der Nähe eines Flecks, selbst wenn man denselben nicht direct sah. Am 6. Januar 1869 beobachtete Secchi dieselben Streifen gegen die Regel auch auf der reinen Sonnenscheibe, aber die Ursache davon wurde bald klar; es hatte sich nämlich eine Cirruswolke zwischen das Fernrohr und die Sonne geschoben, und bei genauerem Nachsehen zeigten sich jetzt diese Streifen auf allen Theilen der Sonnenscheibe; mit dem Wegziehen der Wolke verschwanden auch die Streifen wieder aus dem Spectroskope. Es war damit nachgewiesen, dass der Wasserdampf einen Antheil an der Erscheinung der beobachteten nebligen Streifen hat. Aber noch unzweideutiger zeigte sich bei einer andern Beobachtung in den ersten Tagen des Februar, als Secchi die Sonne durch einen ziemlich dichten Nebel beobachtete, dass die erwähnten Streifen zwar auf der ganzen Sonnenscheibe sichtbar waren, dass sie aber namentlich stärker wurden in der Nähe der Flecke. Die Ursache also, so schliesst

Secchi, welche auf der Sonne durch Absorption des Lichtes diese Streifen entstehen lässt, wird verstärkt durch die absorbirende Wirkung der Wasserdämpfe in der Erdatmosphäre; wo der Erdnebel und der Sonnenfleck zusammenfallen, ist ihre Wirkung verstärkt; die absorbirende Ursache auf der Sonne in der Nähe der Sonnenflecke ist daher dieselbe, wie im Nebel, nämlich der Wasserdampf; folglich scheint es erwiesen zu sein, dass in der Sonnenatmosphäre in der Nähe der grossen Flecke Wasserdampf vorhanden ist.

Secchi hat ferner die schöne Gruppe von Sonnenflecken, welche sich um die Mitte des Monats März 1869 zeigte, mit einem aus drei sehr stark zerstreuenden Prismen und einem stark vergrössernden Fernrohre bestehenden Spectralapparate genau analysirt und ist dabei zu folgenden Resultaten gekommen:

1) Mehrere dunkele Linien, die sich auf dem fleckenfreien Theile der Sonnenscheibe sehr fein und bestimmt zeigen, erscheinen in dem Spectrum des Flecks aufgebläht und erbreitert; andere sind an den Rändern nicht mehr so scharf begrenzt, wie auf dem übrigen Theile des Sonnenspectrums und erscheinen verwaschen.

2) Ein grosser Theil der äusserst feinen und kaum sichtbaren dunkeln Linien des Sonnenspectrums tritt auf dem Spectrum des Flecks sehr breit und dunkel hervor.

3) Die relative Intensität der hellen Streifen zeigt sich auf dem Flecke bedeutend verändert; während einige derselben sehr stark an Helligkeit verlieren, behalten andere ihre volle Intensität bei.

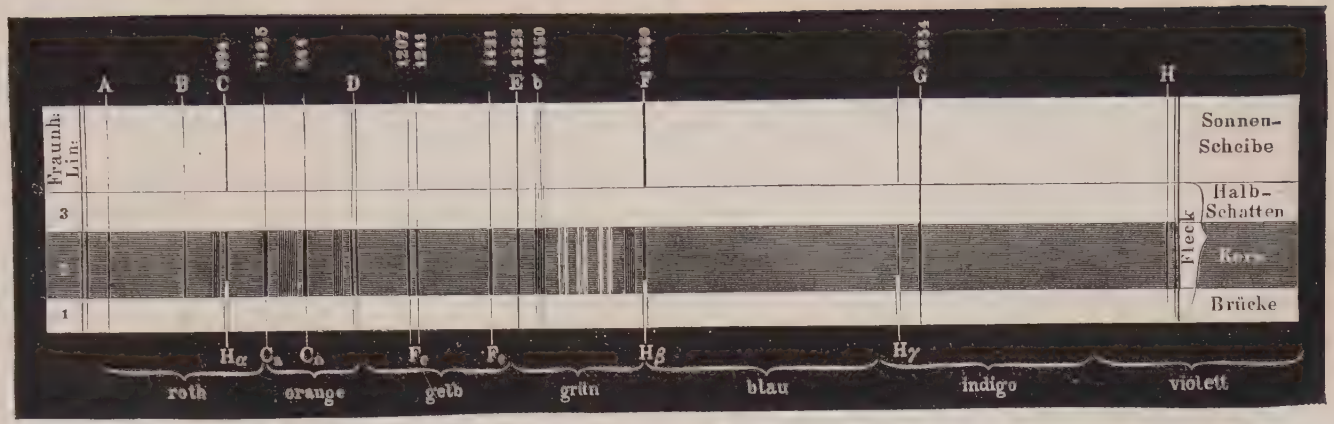
4) Bei denjenigen hellen Streifen, welche schwächer

zu werden scheinen, rührt diese Erscheinung mehr von einer Einwirkung der erbreiterten dunkeln Linien, als von einer wirklichen Abnahme des Lichtes her. So war z. B. die Erbreiterung der beiden, die Natriumlinie D bildenden Linien D' und D'' so gross, dass der dazwischen liegende Theil fast ganz verschwand, während ausserhalb des Flecks diese beiden Linien weit von einander getrennt erschienen.

Vom 11. bis 13. April wurden an einem wenigstens zwanzig Millimeter im Durchmesser haltenden Fleck die Beobachtungen fortgesetzt. Der Fleck hatte einen doppelten ovalen Kern, und war von einem grossen Halbschatten und einer Reihe kleinerer Flecke umgeben. Die beiden Hauptkerne waren durch eine sehr enge und sehr helle Brücke von einander getrennt, welche den ganzen Fleck in zwei Theile theilte und auch den ganzen Halbschatten von einem Ende bis zum andern durchsetzte. Das Innere der Kerne erschien wie mit rosigen Schleiern erfüllt, die auf alle mögliche Weise gewunden und durcheinandergelagert waren.

Secchi fand bei sehr günstigen atmosphärischen Zuständen alle vorhin angeführten Spectralbeobachtungen des Flecks sowohl bezüglich der Erbreiterung der dunkeln Linien, als auch der nebligen Streifen an der Stelle der feinen Linien bestätigt. Die am meisten hiervon betroffenen Linien waren diejenigen, welche in dem Kirchhoff'schen Sonnenspectrum die Zahl 719,5 und 864 tragen; sie zeigten sich auf dem Fleck mindestens dreimal so schwarz und so breit, als ausserhalb desselben, obwohl ihre Ränder immer noch scharf begrenzt waren.

Fig. 75.



P. Secchi, Spectrum der Sonnenflecke am 20. März 1869.

Als der Spalt des Spectroskops senkrecht zu der Brücke des Flecks gestellt wurde und also das Licht der Brücke, des Kerns und des Halbschattens auf das Prisma fiel, erhielt Secchi gleichzeitig drei Arten von Spectren im Sehfelde des Instrumentes, jedes von dem andern scharf getrennt, und zwar so, wie es in der Fig. 75 unter Beifügung der Fraunhofer'schen Linien mit den Kirchhoff'schen Zahlen schematisch dargestellt ist.

Nr. 1: das gewöhnliche Sonnenspectrum auf der hellen Brücke, aber die Linien des Wasserstoffs $H\alpha = C$, $H\beta = F$, $H\gamma$ nahe bei G hellleuchtend statt dunkel;

Nr. 2: das Spectrum des Kerns mit den erbreiterten und verstärkten dunkeln Linien, einigen neuen streifigen Banden und einigen hellen Linienpaaren im Grün; die hellen Wasserstofflinien der angrenzenden Brücke Nr. 1 ragten noch auf eine lange Strecke in das Spectrum des Kerns hinein;

Nr. 3: das Spectrum des Halbschattens, in welchem die Linien des Wasserstoffs nicht vorhanden waren, also weder als dunkle noch als helle Linien auftraten, sondern überhaupt fehlten.

Ausser der Erbreiterung der dunkeln Linien im Spectrum des Fleckenkerns traten in demselben mehrere Absorptionsbänder auf; eines im Roth, nahe bei C nach B hin; ein anderes nahe bei D, und eine sehr dunkele Zone in der Mitte zwischen C und D. Im Grün zeigte sich ein ziemlich grosser nebelig dunkeler Raum, in welchem, was höchst bemerkenswerth ist, auf dunklem Hintergrunde mehrere helle Linien, je zwei und zwei durch mässige Intervalle von einander getrennt, so hell glänzten, dass ihre Licht-

strahlen augenscheinlich keine Absorption erlitten; endlich war noch eine dunkle Bande im Blau, nahe bei *F* vorhanden.

Ausser den oben genannten Linien 719,5 und 864 der Kirchhoff'schen Scala, welche dem Calcium angehören, gibt es noch eine grosse Anzahl von dunkeln Linien, welche auf dem Kerne des Flecks sich erbreitern und dunkler werden; besonders stark trat diese Erscheinung in der benachbarten Gruppe des Eisens auf, in der Gruppe zwischen den Linien 1207 und 1241 (Kirchhoff) und in derjenigen, deren Mitte die Linie 1421 entspricht. Secchi hat eine Reihe von diesen Linien mit den Eisenlinien identificirt; sie wurden sämmtlich durch die Absorption der Fleckenmaterie mehr beeinflusst, als die beiden *D*-Linien des Natriums, die sich zwar auch erbreiterten, aber an den Rändern die scharfe Begrenzung verloren; die Magnesiumlinien *b* erlitten in dem Spectrum des Flecks fast gar keine Aenderung.

Lockyer fand bei einem Fleck, den er am 20. Februar 1869 beobachtete, dass sowohl die Magnesium-, als auch die Bariumlinien eine Erbreiterung erleiden, und stimmt mit Secchi darin überein, dass diese Verstärkungen der Fraunhofer'schen Linien, wie sie im Spectrum der Flecke vorkommen, von einer vermehrten Absorption derjenigen Materien herrührt, welche die Flecke bilden, und dass im Allgemeinen die Flecke Vertiefungen in der Oberfläche des Sonnenkörpers sind, ausgefüllt mit verdichteten Massen derjenigen Substanzen (Eisen, Calcium, Barium, Magnesium, Natrium, Wasserstoff), deren Linien im Spectrum eine Erbreiterung und grössere Verdunkelung erleiden und überragt von dem leichteren Wasserstoffgase.

Die bisherigen Resultate der Spectralbeobachtungen von Secchi und Lockyer, so wichtig und gehaltreich sie auch sind, stehen doch noch zu vereinzelt und ohne den nöthigen Zusammenhang mit den Ergebnissen der teleskopischen Beobachtungen der Flecke und Fackeln da, um ein vollständiges Material für die Erklärung der Natur der Flecke abzugeben. So viel aber dürfen wir mit einiger Sicherheit schon jetzt schliessen, dass die Erscheinung der Erbreiterung und des Dunklerwerdens der Fraunhofer'schen Linien, so wie das Auftreten von neuen dunklen Banden in dem Spectrum des Kerns nur von einer verstärkten Absorption seitens derjenigen Materien herrührt, welche den Fleck ausmachen.

Indem das weisse Licht des Sonnenkerns, welches bereits in der absorbirenden Schicht eine Absorption erlitten hat, durch die dampfförmige Materie eines Sonnenflecks hindurchgeht, erleidet es nochmals eine theilweise Absorption von denjenigen Stoffen, die vorzugsweise und in grösserer Menge in dem Fleck enthalten sind. Da nun die Calcium- und die Eisenlinien des Fleckenspectrums besonders stark, die Natriumlinien in geringerem Grade und noch weniger die Magnesiumlinien afficirt erscheinen, so kann man mit Secchi und Lockyer schliessen, dass die den Sonnenfleck bildende Substanz vorzugsweise aus Dämpfen von Calcium, Eisen, Natrium, Barium und Magnesium zusammengesetzt ist, dass jedoch diese Stoffe in verschieden dicken Schichten und in sehr verschiedenen Verhältnissen daselbst vorkommen.

Dass das Wasserstoffgas bei den Flecken eine Hauptrolle spielt, zeigt das Spectrum auf die unzweideutigste

Weise. In denjenigen Theilen, welche dem Kerne dicht anliegen, also in der Brücke, wo eine solche vorhanden ist, und in dem Halbschatten tritt die Einwirkung der Wasserstofflinien am entschiedensten auf. In dem Spectrum der Brücke (Nr. 1) erscheinen diese drei charakteristischen Linien $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ als hellglänzend; in dem Spectrum des Halbschattens (Nr. 3) fehlen sie oft ganz und in dem Spectrum der reinen Sonnenscheibe und des Kerns (Nr. 2) treten sie als die bekannten dunkeln Fraunhofer'schen Linien *C*, *F*, nahe *G* auf.

Die Erklärung dieser Erscheinung ergiebt sich durch die Annahme, dass von Zeit zu Zeit aus dem Innern des glühenden Sonnenkerns Wasserstoffgas nach aussen hervorbricht. Wegen seiner grossen Leichtigkeit wird sich dieses Gas in ungeheuren Flammensäulen (Protuberanzen) über die absorbirende Dampfschicht erheben, bald darauf aber in Folge der durch die Expansion entstehenden Abkühlung chemische Verbindungen mannigfaltiger Art, insbesondere mit dem Sauerstoff eingehen und dann theils unverbunden nach den Seiten hin abfliessen, theils in seiner Verbindung mit dem Sauerstoff (Wasserdampf) und mit den andern Stoffen der Sonne gasige oder dampfförmige Massen darstellen, welche sowohl ihrer Natur nach, als in Folge fortwährender Abkühlung dichter sind, als das Wasserstoffgas, und durch ihre Schwere niedersinken. Dass der aufsteigende Gasstrom eine Menge von solchen Stoffen, die im Sonnenkern und in der absorbirenden Dampfschicht vorhanden sind, mit sich fortreisse und in die Höhe führe, ist natürlich; wenn diese Substanzen selbst glühend in dem glühenden Wasserstoffgase in hinreichender

Menge vorhanden sind, werden wir ihre charakteristischen Linien als helle leuchtende Linien in dem Spectrum der Flammensäulen wahrnehmen können. In der That sind mehrere derartige Linien zugleich mit den hellen Linien des Wasserstoffs während der Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868 in den Protuberanzen, von denen später die Rede sein wird, beobachtet worden, und werden jetzt täglich bei Sonnenschein auf der Sonnenscheibe wahrgenommen.

Wenn die Heftigkeit der Gaseruption nachgelassen hat, die chemischen Verbindungen ihr Spiel beginnen und dampfförmige Niederschläge mannigfacher Art erfolgen, beginnt die Bildung des Flecks. Die schweren Theile dieser Niederschläge sinken nieder und bilden an den Stellen der grössten Verdichtung den Kern eines Flecks, an den weniger dichten Randtheilen desselben den Halbschatten. Aber auch der dampfförmige Kern lässt, ungeachtet er uns fast schwarz erscheint, noch eine Fülle des Sonnenlichtes hindurch, ja nach Zöllner's Messungen strahlt ein schwarzer Kernfleck immer noch viertausendmal so viel Licht aus, als eine gleich grosse Fläche des Vollmondes. Die Resultate der Spectralanalyse sind damit im Einklange, denn auch der schwärzeste Kern giebt noch ein Spectrum mit allen Einzelheiten des vollen Sonnenlichtes.

Wo der Fleck von den noch aufsteigenden Gasströmen durchbrochen wird, bildet sich eine sogenannte Brücke, ein hellleuchtender Streifen, welcher den Fleck und den Halbschatten durchsetzt und dem Sonnenlichte und dem Wasserstoffgase den Durchgang verstattet. Die Lichtstrahlen des glühenden Wasserstoffs, mit welchem solche Spalten

über die absorbirende Schicht hinaus angefüllt sind, werden nicht weiter absorbirt und überstrahlen die dunkeln Fraunhofer'schen Linien *C*, *F*, nahe *G*; diese Linien werden daher in dem Spectrum der Brücke (Nr. 1) aus dunkeln in helle umgekehrt. In dem Kerne des Flecks ist der freie Wasserstoff nicht mehr in hinreichender Fülle vorhanden und auch die Temperatur ist zu gering, als dass seine Linien *Hα*, *β*, *γ* die dunkeln Fraunhofer'schen Linien *C*, *F*, nahe *G* zu überstrahlen oder auch nur erheblich zu schwächen vermöchten; dagegen reicht die Lichtfülle und die Temperatur des Wasserstoffs in den zum Halbschatten gehörigen Theilen noch hin, dass seine drei hellen Linien, mit den genannten dunkeln Linien *C*, *F*, nahe *G* coincidirend, diese bis zur Intensität der benachbarten Lichtregionen des Spectrums aufhellen und daher unsichtbar machen. In dem Spectrum der Brücke (1) erscheinen daher diese Linien meist hell, in dem des Kerns (2) bleiben sie dunkel, in dem des Halbschattens fehlen sie oft ganz. Das Hineinragen der hellen Linien aus dem Spectrum der Brücke in das des Kerns deutet darauf hin, dass das Wasserstoffgas aus dem die Brücke bildenden Eruptionsraume nach der Seite abfliesst und sich daselbst oberhalb des bereits gebildeten Kerns ansammelt.

Die verschieden grosse Veränderung, welche die Linien des Wasserstoffs, des Magnesiums und des Natriums, des Calciums und des Eisens in dem Spectrum des Kerns erleiden, scheint anzuzeigen, dass in den wolkenartigen und dampfförmigen Gebilden, die den Fleck ausmachen, die neuen Verbindungen sich nach Maassgabe ihrer specifischen Schwere in verschiedenen Schichten übereinander

lagern. Das Wasserstoffgas nimmt darnach die höchste Stelle ein; Wasserdampf, Magnesium und Natrium folgen in dünneren Schichten darunter; die schwereren Calcium- und Eisendämpfe bilden die tiefere und dickere Schicht, die Basis des Flecks.

Die Bildung eines Flecks wird hiernach einer Wasserstofferuption bald nachfolgen; der Fleck selbst ist eine wolkenartige, mannigfach zusammengesetze glühende Dampfmasse, nach Zöllner eine Art Schlacke, welche das Licht des Sonnenkörpers theilweise zurückhält, und daher sich für unsern Anblick als dunkle Masse auf der Sonnenscheibe projicirt, wie selbst das ungemein intensive Licht des im Knallgase weissglühenden Kalkes, das Drummond'sche Licht, gegen die Sonne gesehen, uns schwarz erscheint.

Die ungeheuren Dimensionen, welche diese Dampfwolken zuweilen nach allen Richtungen hin einnehmen, lassen ihre grosse Beständigkeit, welche nicht selten während mehrerer Sonnenumdrehungen andauert, erklärlich finden. Für ihren Untergang müssen wir theils neue Gasausströmungen aus dem Sonneninnern, welche sie durchbrechen und zertheilen, theils das völlige Versinken in den Sonnenkern hinein und in Folge übergrosser Erhitzung die dadurch herbeigeführte neue Dissociation der Verbindungen in die einzelnen Elemente als Ursache annehmen.

Wir sind weit davon entfernt, in den vorstehenden Gedanken eine alle Erscheinungen der Sonnenflecke umfassende Erklärung finden zu wollen. Wenn es gewiss von höchstem Interesse für uns ist, die physische Natur desjenigen Himmelskörpers näher kennen zu lernen, der uns Licht, Wärme, Bewegung und Leben giebt, so müssen wir

uns anderseits doch sehr hüten, dasjenige für Wahrheit und Wirklichkeit zu halten, was zunächst nur das Resultat unserer Combinationen ist, und dieses um so mehr, wenn unsere Speculationen nur auf Beobachtungen beruhen, die vereinzelt dastehen und des Zusammenhanges mit dem grossen Ganzen, zu welchem sie gehören, noch entbehren. Die so eben entwickelten, aphoristisch dargestellten Ideen sollen daher auch nur dazu beitragen, die bisherigen Resultate der Spectralbeobachtungen von Secchi, Huggins und Lockyer einigermassen zu erläutern, dieselben auf eine ungezwungene Weise zu interpretiren und mit den nachfolgenden Ergebnissen der Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868 in Zusammenhang zu bringen.

43. Sonnenfinsternisse.

Die Ursache, dass unsere Kenntnisse von der Natur der Sonne noch so lückenhaft sind und dass selbst heute zwischen den beiden fast diametral gegenüberstehenden Ansichten von Kirchhoff und Faye noch nicht mit völliger Gewissheit entschieden werden kann, liegt darin, dass das blendende Licht des Sonnenkerns oder der Photosphäre für gewöhnlich die übrigen leuchtenden Theile, die in der Umgebung des Sonnenrandes vorhanden sind, überstrahlen und diese daher auch in den stärksten Fernrohren unsichtbar bleiben. Ein Abblenden der Sonnenstrahlen durch Zwischenschieben einer undurchsichtigen Scheibe führt nicht zum Ziele, weil das diffuse Tageslicht dadurch nicht beseitigt werden kann und dieses ebenfalls gegenüber dem schwachen Lichte der Sonnen-

umgebung zu intensiv ist. Anders stellt sich die Sache während der Dauer einer totalen Sonnenfinsterniss, wo der Mond die ganze Sonnenscheibe bedeckt und grosse Strecken der Erdoberfläche in seinen Schattenkegel einhüllt. Dem von dem Lichte des Tages nicht mehr behinderten Beobachter zeigt sich dann in der Umgebung der Sonne eine Reihe von Einzelheiten, die er sonst nicht wahrzunehmen vermag und deren Erkenntniss vorzugsweise geeignet ist, über die Natur und die physische Beschaffenheit des Sonnenkörpers Licht zu verbreiten.

Wenn im Beginne einer totalen Sonnenfinsterniss der Mond auf seinem Laufe von West nach Ost vor die Sonnenscheibe tritt, so bemerkt der Beobachter bei directem Sehen den Eintritt der Mondscheibe auf der westlichen (d. h. rechten) Seite der Sonne; bedient er sich dabei eines astronomischen Fernrohrs, so erscheint das Bild darin umgekehrt und die Verfinsterung beginnt scheinbar auf der linken Seite. Bleiben wir bei dem ersteren Falle, so rückt der Mond von West nach Ost vor der Sonnenscheibe weiter und die Verfinsterung nimmt zu, bis der Mond mit seinem voranschreitenden östlichen Rande die ganze Sonne bedeckt und auch die letzten Strahlen auf der Ostseite der Sonne verschwinden. Zwischen diesem Momente, dem Beginne der totalen Finsterniss, und demjenigen, wo der nachfolgende westliche Rand des Mondes die Westseite der Sonne berührt und gleich darauf die ersten Strahlen wieder auf der Westseite der Sonne hervorbrechen, liegen die wenigen kostbaren Minuten, um derenwillen die Nationen umfangreiche und kostspielige Expeditionen ausrüsten und die ganze gelehrte und gebildete Welt in Aufregung geräth,

einestheils, weil sie ein kostbares Material für die Erforschung unseres Centralkörpers in sich schliessen, anderntheils, weil die Hebung dieses Schatzes eine Frage des Wetters ist und ein kurzer Wolkenschleier oder ein flüchtiger Nebelstreif alle aufgewandten Mühen und Kosten vereiteln kann.

Wir wollen uns nicht durch eine Schilderung derjenigen Veränderungen aufhalten lassen, die während des Fortschreitens der Finsterniss in dem landschaftlichen Bilde vor sich gehen, noch des tiefen Eindrucks Erwähnung thun, welchen das plötzliche Verschwinden des letzten Sonnenstrahls und das ebenso plötzliche Wiedererscheinen des Lichtes auf die Menschen und Thiere macht.

Der Durchmesser des Schattenkegels, welchen der Mond nach der Erde zu wirft, beträgt an der Stelle, wo er die Erdoberfläche trifft, zu dieser Zeit für die Aequatorgegenden nur etwa dreissig deutsche Meilen; da aber der Mond, der den Schatten wirft, erst in einem Monate von West nach Ost am Himmel fortschreitend seinen Umlauf um die Erde vollendet, die Erdoberfläche aber, welche diesen Schatten auffängt, in einem Tage von West nach Ost umläuft, so bewegt sich der Mondschatten viel langsamer, als die Erdoberfläche. Daher kommt es, dass die Erde unter dem Mondschatten wegzulaufen oder der Mondschatten von Ost nach West der Erde entgegen zu laufen scheint. Von einem etwas erhöhten Standorte sieht man den Schattenkegel des Mondes mit rasender Geschwindigkeit herankommen, und das Gefühl, als ob ein materieller Gegenstand, wie ein ungeheurer Rauch, über die Erdoberfläche fortstürme, erfüllt den minder eingeweihten

Zuschauer mit Angst und Schrecken. Wenige Augenblicke vor dem Beginne der Totalität werden die helleren Sterne sichtbar und der scharf begrenzte schwarze Mondrand zeigt sich allseitig von einem meist niedrigen, aber sehr hellen, silberweissen Ringe oder Lichthofe, der sogenannten Corona, umgeben. Von der Corona aus gehen nach allen Richtungen hin in Höhe und Breite unregelmässig umlaufende, wenig leuchtende Strahlenbündel, welche die ganze Mondscheibe wie mit einem Heiligenschein umgeben; man pflegt diesen Strahlenkranz wohl auch die Glorie (gloires, aigrettes) zu nennen.

Wenn die Totalität der Finsterniss eingetreten ist, sieht man an verschiedenen Stellen dicht am Mondrande, entweder einzeln, oder zu unregelmässigen Conglomeraten zusammengedrängt, wolkenartige Massen von rosenrother oder blasskorallenrother Färbung, die Protuberanzen. Sie durchsetzen in den wunderlichsten Formen die Corona, bald als einzelne Auswüchse von ungeheurer Höhe, bald als niedrige, aber weit am Mondrande hin verlaufende Anschwellungen. Die ersten Protuberanzen gewahrt man in der Regel auf der östlichen (linken) Seite der Sonne, wo im Anfange der Totalität der Mond den Sonnenrand nur eben berührt und die nächste Umgebung der Sonne noch unbedeckt ist; in dem Maasse, wie der Mond nach Osten hin fortrückt, werden denn auch die westlichen Theile der Sonnenumgebung frei, und es treten dann auch hier die Protuberanzen in grösserer Zahl und in deutlich ausgeprägter Entwicklung hervor.

Es unterliegt gegenwärtig keinem Zweifel mehr, dass diese merkwürdigen Gebilde der Sonne angehören und

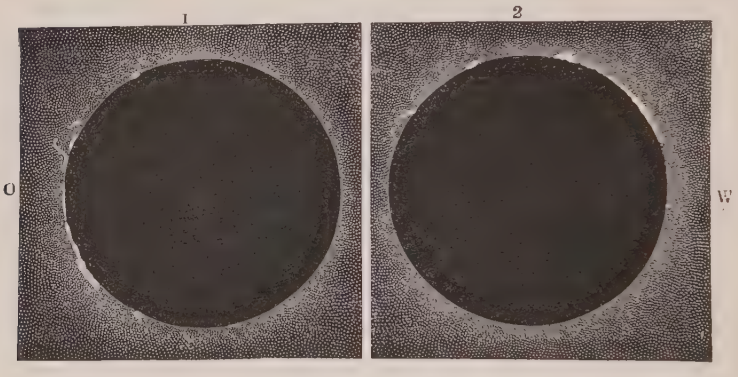
grossartige Anhäufungen einer glühenden gasigen Materie sind, von welcher der ganze Sonnenkörper umgeben ist; es kann daher uns nicht auffallen, dass sie während der kurzen Dauer einer Finsterniss unter den Augen des Beobachters ihre Form verändern; um so mehr Erstaunen erregt die ungeheure Höhe, bis zu welcher diese Gassäulen über den Sonnenrand hinaus aufwachsen können, eine Höhe, die für einzelne derselben mehr als zwanzigtausend deutsche Meilen beträgt.

Ausser den für astronomische Zwecke, insbesondere zur genaueren Ermittelung der Durchmesser von Sonne und Mond und der Richtung des Mondlaufes wichtigen Beobachtungen der Zeit des 1., 2., 3. und 4. Contactes, nehmen während einer totalen Sonnenfinsterniss die Corona, der Strahlenkranz und vor Allem die Protuberanzen die Astronomen in Anspruch. Das Hülfsmittel der Beobachtung war früher ausschliesslich das Fernrohr; bei der grossen Sonnenfinsterniss von 1860 in Spanien wurde zuerst an zwei verschiedenen Orten von P. Secchi und Warren de la Rue mit sehr gutem Erfolge die Photographie angewandt.

Die beiden Abbildungen der Fig. 76 sind getreue Copien der von de la Rue am 18. Juli 1860 zu Rivabellosa in Spanien aufgenommenen Photographien, von denen die erste das Stadium der Finsterniss um 3 Uhr 0 Minuten 40 Secunden, die zweite um 3 Uhr 3 Minuten 50 Secunden (Gr. m. Z.) darstellt. Die Corona erscheint rings um den tief schwarzen Mond in einem sanften Lichte; intensiver zeigen sich die Protuberanzen an verschiedenen Stellen in der Corona, und unter ihnen erreicht eine auf

der oberen linken Seite, von de la Rue in der Form mit einem türkischen Säbel verglichen, die ganz ungeheure Höhe von fünfzehntausend Meilen. Die strahlenförmige von der Corona auslaufende Glorie erschien dem unbewaffneten Auge und im Teleskop von besonderer Schönheit, aber ihr Licht war zu schwach, als dass es einen photographischen Eindruck auf die exponirten Platten hätte ausüben können.

Fig. 76.



Totale Sonnenfinsterniss vom 18. Juli 1860. (Photographirt von Warren de la Rue.)

Seitdem ist nun auch die Spectralanalyse in den Dienst der Astronomie eingetreten und von Kirchhoff insbesondere in eine so nahe Beziehung zu der Sonne gebracht, dass das Spectroskop für die Sonnenfinsternisse einen wesentlichen Theil der Beobachtungswerkzeuge ausmachen muss. Nimmt man noch hinzu, dass auch zur genauen Beobachtung der Zeitmomente selbstthätige Chronographen, und zur Beobachtung der Abnahme und der Zunahme des Lichtes neu erfundene Photometer (von

Zöllner) den Astronomen zur Disposition stehen, so wird man leicht einsehen, dass zur sicheren Handhabung so vieler Instrumente und zur vollständigen Beobachtung so mannigfaltiger Gegenstände für jeden Stationsort eine Reihe der geübtesten Astronomen, Photographen und Physiker erforderlich ist, und dass die Ausrüstung einer Expedition zur Beobachtung einer totalen Sonnenfinsterniss ein ebenso schwieriges, als mit grossen Kosten verbundenes Unternehmen bildet.

44. Die totale Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868

vereinigte alle diese Momente in erhöhtem Maasse und mit verstärktem Interesse in sich, weil sie an weit von einander liegenden Stationen des Festlandes beobachtet werden konnte und die Dauer ihrer Totalität, 6 Minuten 50 Secunden, der grössten Dauer, die eine Sonnenfinsterniss überhaupt haben kann, sehr nahe kam.

Totale Sonnenfinsternisse gehören für einen bestimmten Ort zu den seltensten Erscheinungen; London sah deren keine mehr seit 1715; Berlin wird erst am 19. August 1887 in diesem Jahrhundert eine solche haben, und Paris erblickt im ganzen neunzehnten Jahrhundert keine. Die Finsterniss vom 18. August 1868 forderte daher mit Recht die Gelehrten aller Nationen zu ihrer Beobachtung auf, und wir übertreiben nicht, wenn wir sagen, dass sie mehr als irgend eine andere astronomische Erscheinung unseres Jahrhunderts das Interesse der Völker in Anspruch

genommen hat. Die Zone der totalen Verfinsterung durchschritt in einer Breite von dreissig Meilen vorzugsweise die südlicheren Theile Asiens von Aden über Hindostan, Malacca, Borneo, Celebes u. s. w., und es wurden vom Norddeutschen Bunde, von Oesterreich, Frankreich und England Expeditionen ausgesandt, die von namhaften Astronomen geleitet und mit allen vorhin genannten Beobachtungsmitteln der vorzüglichsten Art auf das reichste ausgerüstet wurden.

In Fig. 77 ist die Zone der totalen Finsterniss zwischen Aden und der Torresstrasse, auf welcher die Beobachtungen stattfanden, abgebildet; der mittlere dunklere Strich bezeichnet die Mitte des Schattenweges, auf welchem die Finsterniss die grösste Dauer hatte. Nach einer von Dr. Weiss in Wien gemachten Vorausberechnung ging die Sonne in jener Gegend Abessiniens auf, in welcher sich der Blaue Nil nach Norden zu wenden beginnt. Der Kernschatten streifte mit seinem Nordrande Gondar, ging über den Zakasee hinweg, passirte die Strasse Bab-el-Mandeb, gelangte nach Aden, wo unsere Zeichnung beginnt, ging durch das Arabische Meer nach Vorderindien, wo die Ortschaften Samkhandi, Beejapoor, Moolwar, Guntoor, Masulipatam nahe der Centrallinie lagen und die Dauer der Totalität zwischen 5 Minuten 10 Secunden und 5 Minuten 45 Secunden betrug. Im Meerbusen von Bengalen und auf der Malayischen Halbinsel (Wha Tonne) nahm die Dauer noch zu, bis sie im Golf von Siam ihren grössten Werth von 6 Minuten 50 Secunden erreichte. Die Totalitätszone durchschritt dann die Südspitze von Anam, ging nach dem nördlichen Theile von

Borneo und Celebes und mitten zwischen der Inselgruppe der Molukken hindurch. Der Schattenkegel traf ferner

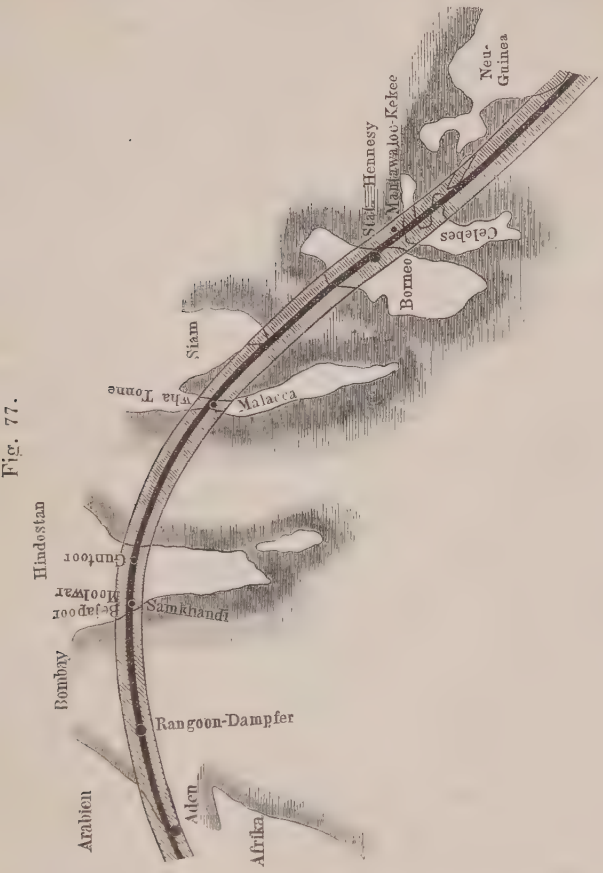


Fig. 77.

noch die südliche Ausbuchtung von Neu-Guinea, die nördlichste Spitze von Australien und zog endlich durch das Korallenmeer und die Neuen Hebriden, wo man die Sonne verfinstert untergehen sehen musste.

1) Der Norddeutsche Bund sandte zwei Expeditionen aus, von denen die eine aus dem Bonner Astronomen Dr. Thiele und den Berliner Photographen Dr. Vogel, Dr. Zenker und Dr. Fritsch bestand und ihren Standort in Aden wählte, die andere, bestehend aus Prof. Spörer aus Anclam, Dr. Tietjen aus Berlin, Dr. Engelmann aus Leipzig und Koppe aus Berlin, sich über Bombay nach dem Orte Moolwar (vier Meilen südlich von Beejapoor) begab.

2) Die Oesterreichische Expedition unter Dr. Weiss, Dr. Oppolzer und dem Schiffslieutenant Rziha verblieb, wie die erste Abtheilung des Norddeutschen Bundes, in Aden.

3) Frankreich sandte ebenfalls zwei Expeditionen aus; die eine, unter der Führung des in spectralanalytischen Beobachtungen vielerfahrenen Physikers Janssen, wählte ihren Standort in Guntoor; die andere, bestehend aus dem Astronomen der Marseiller Sternwarte, Stephan, den Physikern Rayet und Tisserand und dem Ingenieur Hatt u. A., ging weiter nach der Halbinsel Malacca zu dem kleinen Orte Wha Tonne nahe am Meere.

4) Englands Expeditionen waren, wie die vorigen, vortrefflich ausgerüstet; die eine, unter der Führung von Lieutenant Herschel, stellte ihre Instrumente auf der westlichen Küste von Vorderindien, zu Samkhandi in der Nähe von Belgaum auf; eine andere Abtheilung unter den Capitänen Haig und Tanner ging nach Beejapoor; während die dritte, geführt von dem Major Tennant und vorzugsweise für photographische Aufnahmen eingerichtet, sich weiter östlich nach Guntoor wandte, wo auch Janssen sich befand.

5) Die Väter der Gesellschaft Jesu zu Manila auf den Philippinen rüsteten eine kleine, aus den P. P. Fauro, Nonell und Ricart bestehende Expedition nach einer Coralleninsel in dem Eingange zum Golfe von Tomini oder Garontolo, Mantawaloc-Kekee genannt, aus, die in Gemeinschaft mit dem Capitän des englischen Kriegsdampfschiffes „Sergent," Charles Bullock, mit grossem Erfolge die einzelnen Erscheinungen der Finsterniss verfolgt haben. Ihr Standort befand sich unter 0 Grad 32 Minuten 50,1 Secunden südlicher Breite und 123 Grad 27 Minuten 27,5 Secunden östlicher Länge von Greenwich.

Ausser diesen mit allen wissenschaftlichen Apparaten ausgerüsteten vollständigen Expeditionen haben sich noch manche einzelne Personen, die sich zufällig in der Zone der totalen Finsterniss befanden, und von denen einige mit sehr guten Fernrohren versehen waren, mit vielem Eifer und nicht ohne Erfolg der Beobachtung aller einzelnen Vorgänge unterzogen. So befand sich mitten in jener Zone der Capitän Rennoldson mit dem Dampfer „Rangoon" auf hohem Meere, und die vier Handzeichnungen der Finsterniss, die in der Mitte der Totalität angefertigt wurden, gehören mit zu den ersten Abbildungen, welche in die Oeffentlichkeit kamen. Auf der Westküste von Borneo beobachtete der Gouverneur von Labuan, J. Pope Hennessy, mit Capitän Reed und Anderen, und seine Mittheilungen über alle Einzelheiten der Finsterniss und den Gang des Barometers und des Thermometers während derselben sind von grossem Interesse. In Adoni, einer Stadt nahe bei Bellary, unter 15 Grad 37 Min. nördlicher Breite

und 77 Grad 20 Minuten östlicher Länge, befand sich der englische Lieutenant Warren, der ebenfalls mit einem guten Teleskop und Thermometer versehen, dem Verlaufe der Erscheinung folgte und einen Bericht über seine Beobachtungen der Oeffentlichkeit übergeben hat. Ohne Zweifel haben auch die Holländer von den Sundainseln aus Beobachter nach der Zone der totalen Verfinsterung gesandt; doch sind unseres Wissens von dieser Seite noch keine Berichte veröffentlicht worden.

Wir müssen für unsere Zwecke die einzelnen Resultate, welche die verschiedenen Expeditionen erhalten haben, so weit sie die rein astronomischen Erscheinungen oder die Veränderungen der Intensität des Lichtes, der Wärme, des Luftdrucks u. s. w. betreffen, ebenso die Messungen der Positionen und der Höhe der Protuberanzen, die Beobachtungen über die Polarisation des Lichtes der Corona und Aehnliches übergehen, um desto ausführlicher bei denjenigen Erscheinungen verweilen zu können, welche den photographischen und spectralanalytischen Beobachtungen unterzogen worden sind und Resultate von solcher Wichtigkeit geliefert haben, dass wir ihre Tragweite heute noch nicht zu übersehen im Stande sind.

45. Photographische Bilder der Sonnenfinsterniss.

Da die photographischen Aufnahmen der Sonne mittelst eines Teleskops während der verschiedenen Perioden ihrer Verfinsterung nicht bloss die einzelnen dabei auftretenden Erscheinungen treu wiedergeben, sondern

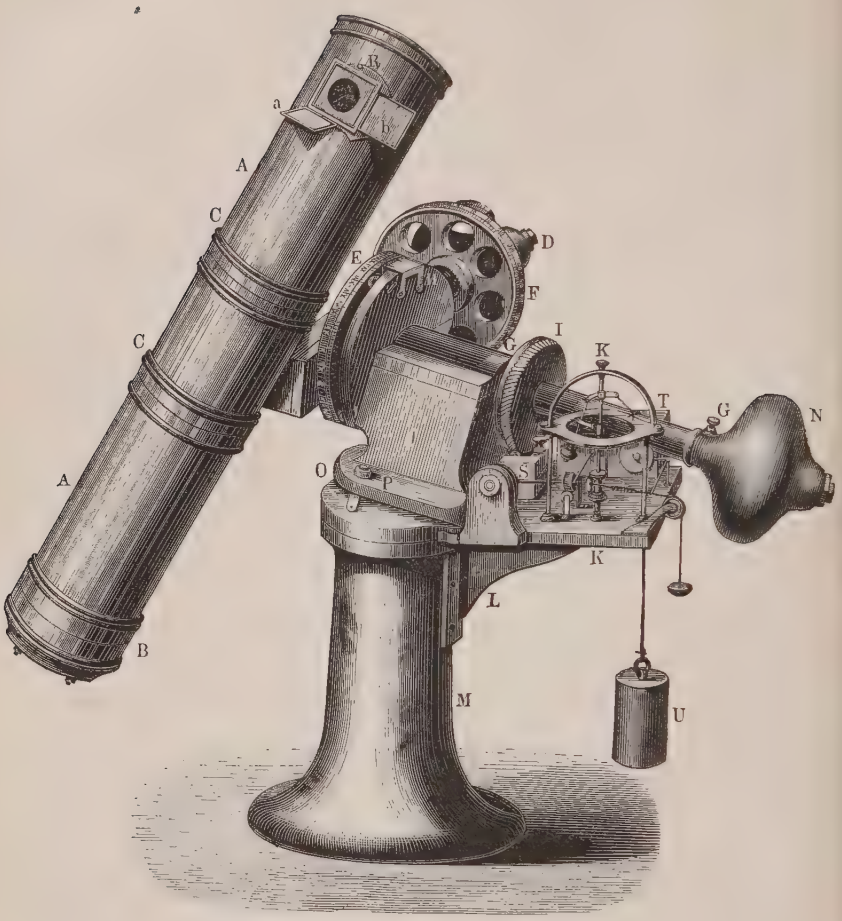
auch, wenn ihrer mehrere nach einander und an verschiedenen, nicht sehr nahe gelegenen Orten aufgenommen werden, ein deutliches Bild des ganzen Verlaufes der Finsterniss und der während der Totalität eingetretenen Veränderungen liefern, so werden die photographischen Apparate in Zukunft bei allen bedeutenderen Verfinsterungen eine hervorragende Rolle spielen.

Im Wesentlichen bestehen alle Vorrichtungen dieser Art aus drei Theilen: 1) einem astronomischen Teleskope; 2) einem Uhrwerke, um das teleskopische Rohr in einer der Umdrehung der Erde entgegengesetzten Richtung der Art zu bewegen, dass ein an das Fadenkreuz oder in die Achse des Instrumentes eingestellter Stern ungeachtet der Drehung der Erde diese Stellung im Rohre nicht verlässt und dass dieses Rohr ohne Zuthun des Beobachters der scheinbaren Bewegung des Sterns oder irgend eines andern Objects am Himmel genau folgt; 3) dem photographischen Zubehör, welches sich für das Instrument auf eine Vorrichtung beschränkt, die geeignet ist, die Cassette mit den auf die gewöhnliche Weise präparirten Glasplatten an derjenigen Stelle aufzunehmen, wo sonst im Teleskope das von dem Objective erzeugte Bild durch das Ocular direct angeschaut wird.

Je nachdem das Teleskop ein Reflector oder ein Refractor ist, das Objectiv also aus einem Spiegel oder einer Glaslinse besteht, befindet sich der photographische Theil am oberen oder am unteren Ende des Tubus.

Die Fig. 78 zeigt das von John Browning in London für das Indische Gouvernement angefertigte photographische Spiegelteleskop, mit welchem Major Tennant zu Guntoor

Fig. 78.



Browning's photographisches Teleskop.

die Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868 photographisch aufgenommen hat. Auf dem Boden des Rohres *A A*, welches aus drei eisernen durch zwei Flaschen *C*, *C* mit ein-

ander verbundenen eisernen Röhren besteht, ist der versilberte Hohlspiegel *B* von Glas, Fig. 79, so eingesetzt, dass man mit Hülfe von zwei nach aussen hervorragenden Schrauben ihm leicht diejenige richtige Stellung geben kann, bei welcher die von ihm nach dem Planspiegel *mn* und von diesem nach dem seitlichen Rohre *R* reflectirten Lichtstrahlen sich an der Oeffnung von *R* zu einem kleinen scharfen Bilde des beobachteten Gegenstandes, z. B. der Sonne, vereinigen.

Das Teleskop *AA* ist auf der sogenannten Declinationsachse befestigt und am Ende dieser letzteren

Fig. 79.

Gang der Lichtstrahlen im Teleskope.

durch ein Gegengewicht *D* contrabalancirt. Der Declinationskreis befindet sich zunächst dem Gewichte *D* und dient zur Messung des Winkels, den das Rohr mit dem Horizonte bildet.

E ist der auf der Polarachse *GG* befestigte Stundenkreis; derselbe giebt auf dem festen Nonius *H* die gerade Aufsteigung (Rectascension) an. Da die untere Seite dieses Kreises über drei Frictionsrollen läuft, von denen zwei in der Figur sichtbar sind, so ist die Reibung dieser der Erdachse parallelen Polarachse so gering, dass zur Bewegung derjenigen Theile des Instruments, welche bewegt werden müssen und die zusammen gegen fünf Centner wiegen, ein Gewicht von neun Pfund, das beim

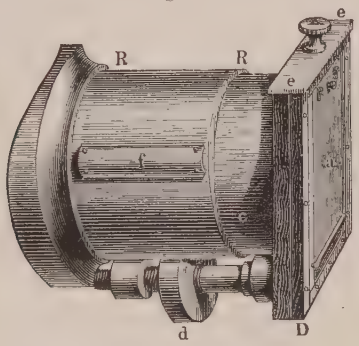
Punkte H an die Deklinationsachse angehängt ist, ausreicht. Das Gewicht des Teleskops und seines Gegengewichtes D, so wie das des Kreises E und des damit in Verbindung stehenden Triebwerkes wird durch das am Ende der Polarachse angebrachte Gewicht N im Gleichgewichte gehalten. Diese Achse GG trägt das Triebrad I von Kanonenmetall, welches durch eine darunter liegende stählerne Schraube ohne Ende in Bewegung gesetzt wird; das Achsenlager S dieser Schraube kann seitlich verschoben und dadurch die Schraube selbst nach Belieben in die Zähne des Triebrades I eingerückt oder daraus entfernt werden; letzteres geschieht, um das Teleskop mit der Hand in jeder beliebigen Richtung drehen und auf den zu beobachtenden Gegenstand einstellen zu können. Wenn, nachdem dies geschehen ist, die Schraube S in das Zahnrad I eingerückt wird, dreht sich das Teleskop nur unter dem Einflusse des Uhrwerkes, welches in einem viereckigen Kasten T von Bronze eingeschlossen ist, durch das Gewicht U getrieben, und durch einen Centrifugalregulator K regulirt wird und ausschliesslich auf die Schraube ohne Ende und damit auf das Triebrad I und die Polarachse GG einwirkt.

Wie Fig. 79 zeigt, werden die in paralleler Richtung auf den Hohlspiegel B von $9^1/_2$ Zoll Durchmesser auffallenden Sonnenstrahlen so reflectirt, dass sie sich in einer Entfernung von 5 Fuss 9 Zoll (Brennweite) vereinigen würden. Vor diesem Brennpunkte aber steht der Diagonalspiegel mn, der die convergirenden Strahlen seitwärts reflectirt und in das Ocularrohr R bringt. Die Strahlen vereinigen sich etwas ausserhalb des Rohres R zu einem Punkte, wenn der leuchtende Gegenstand ein Punkt, oder

nur sehr wenig grösser als ein Punkt ist; da aber der Durchmesser der Sonne im Winkel von ungefähr 33 Minuten erscheint, so ist das Bild derselben im Brennpunkte etwas grösser als $^3/_4$ Zoll.

Das Ocularrohr *R* dient zur Aufnahme des photographischen Theiles und enthält zu diesem Zwecke zunächst ein Rohr *c*, Fig. 80, welches sich mit Hülfe von zwei Federn *f* ganz genau anschliessend und ohne Licht

Fig. 80.



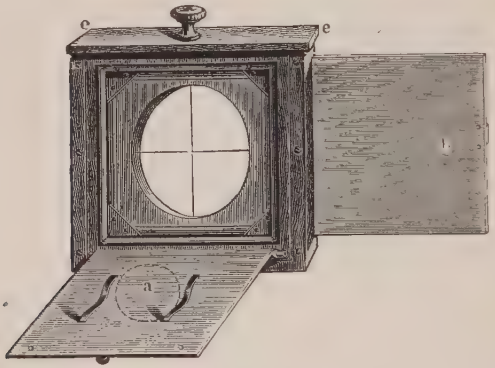
Ocularrohr des photographischen Telescops.

oder Staub durchzulassen vermittelst der starken Schraube *d* hin- und herschieben lässt. Auf den Kopf dieses innern Rohres *c* wird die Cassette *ee*, Fig. 81, mit der empfindlich gemachten Platte zur Aufnahme des photographischen Bildes aufgesteckt. Die Einrichtung dieser letzteren ist aus der Figur leicht zu erkennen. Nachdem der undurchsichtige Schieber *b* einwärts geschoben ist und damit die vier feinen Silberfäden bedeckt sind, wird die präparirte Platte auf die vier in den Ecken befindlichen silbernen Plättchen gelegt und die Thür *a* geschlossen. Die Cassette

wird dann auf den Kopf von *c*, Fig. 80, gesteckt, der Schieber *b* zurückgezogen und so die Platte der Einwirkung des Lichtes ausgesetzt. Nach erfolgtem Exponiren wird *b* wieder eingeschoben, die Cassette abgenommen und eine andere mittlerweile präparirte Platte nebst neuer Cassette auf das Teleskop aufgesetzt.

Um die Operationen während der kurzen Dauer der Verfinsterung nicht aufzuhalten, waren bei der Aufnahme

Fig. 81.



Cassette des photographischen Teleskops.

der Sonnenfinsterniss sechs Cassetten mit ebenso vielen Platten vorhanden. Das Kreuz, welches die vier Silberfäden auf jeder Platte abzeichnete, und das dazu diente, die genaue Lage der Sonnenachse auf jedem photographischen Bilde erkennen zu lassen, musste in voller Schärfe erscheinen; zu diesem Zwecke waren die Fäden nur $^1/_{100}$ Zoll von der präparirten Seite der Platte entfernt; dennoch musste der sehr dünne Schieber *b* sich mit völliger Sicherheit zwischen den Fäden und der Platte bewegen lassen, ohne

den einen oder den andern Theil zu berühren. Durch vorhergängige Proben wurde der Brennpunkt für die Platten oder die Stelle, bis wie weit das Rohr *c* (Fig. 80) aus *RR* herausgeschraubt werden musste, ermittelt; zu diesem Zwecke befand sich im Rücken der Thür *a* (Fig. 78) ein runder Schieber, der, wenn er geöffnet war, einen Einblick in die Cassette und auf das eingesetzte matte Glas gestattete.

Bei der Finsterniss vom 18. August 1868 beschäftigten sich mit photographischen Aufnahmen:

1) Die Norddeutsche Expedition in Aden unter Dr. Vogel, Dr. Zenker, Dr. Fritsch und Dr. Thiele.

2) Die englische Expedition in Guntoor unter Tennant.

3) Die Expedition der Jesuiten von Manila auf Mantawaloc-Kekee.

Lassen wir über den Erfolg der ersteren Dr. Vogel selbst reden; er schrieb an Bord des Dampfers, der die Expedition nach Suez zurückführte, Folgendes: „Am 18. August verliessen wir früh um 4 Uhr unser Lager. Etwa neun Zehntheile des Himmels waren bewölkt. Resignirt machten wir uns an die Arbeit . . . Unsere Aufgabe war es, innerhalb der drei Minuten (der Totalitätsdauer in Aden) eine möglichst grosse Zahl von Bildern des Phänomens zu erhalten. Für diesen Zweck hatten wir uns förmlich an dem photographischen Fernrohr einexercirt, gerade wie die Artilleristen vor ihren Kanonen. Dr. Fritsch präparirte die Platten in dem ersten Zelte, Dr. Zenker besorgte das Einschieben der Cassette in das Fernrohr, Dr. Thiele exponirte im photographischen

Teleskope, welches mittelst eines Uhrwerkes so bewegt wurde, dass es dem Laufe der Sonne genau folgte und das Sonnenbild auf der präparirten Platte eine fixe Lage behielt, und ich entwickelte in dem zweiten Zelte. Wir hatten festgestellt, dass es in dieser Weise möglich sei, in drei Minuten sechs Bilder zu machen. Der entscheidende Moment kam immer näher; der mit banger Sorge von uns betrachtete Wolkenhimmel zeigte zu unserer Freude jetzt einige Lücken, durch welche die theilweise vom Monde bedeckte, als Sichel erscheinende Sonnenscheibe sichtbar wurde. Die Landschaft erschien in dem seltsamsten Lichte, beinahe ein Mittelding zwischen Sonnen- und Mondlicht. Die chemische Lichtstärke erwies sich auffallend schwach. . . Immer kleiner wurde die Sonnensichel, und die Wolkenlücke schien sich noch mehr zu öffnen — wir schöpften Hoffnung. Die letzte Minute vor der Totalität der Finsterniss, welche um 6 Uhr 20 Minuten eintrat, verging im Fluge. Dr. Fritsch und ich krochen eiligst in unser Zelt und blieben daselbst; von der Totalität haben wir leider unter diesen Umständen nichts gesehen. Unsere Arbeit begann. Die erste Platte wurde probeweise fünf und 10 Secunden exponirt, um zu sehen, welche Zeit ungefähr die richtige sei. Mohammed, unser schwarzer Diener, brachte mir die erste Cassette (mit der exponirt gewesenen Platte) ins Zelt. Ich goss den Eisenentwickler klar über die Platte, gespannt der Dinge harrend, die da kommen sollten. Da erlosch meine Lampe. Licht! Licht! rief ich — Licht! Aber Niemand hörte; alle hatten vollauf zu thun. Da griff ich selbst mit der Hand zum Zelte hinaus — in der Linken die Platte haltend — fand glücklich

die Oellampe, die ich mir für alle Fälle brennend bereit gestellt hatte, und jetzt sah ich das Sonnenbildchen auf meiner Platte erscheinen (Fig. 82). Die dunkle Sonnenwand war umgeben mit einer Reihe eigenthümlicher Erhebungen

Fig. 82.

Totale Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868. (Beobachtung zu Aden.) (I. Bild.)

auf der einen Seite; auf der andern zeigte sich ein seltsames Horn (Protuberanz). Beide Erscheinungen vollkommen analog in beiden Bildern auf derselben Platte. Meine Freude war nicht gering; doch es war keine Zeit zum Freuen. Bald war die zweite und eine Minute später

auch die dritte Platte in meinem Zelte. „Die Sonne kommt!“ rief Zenker; die Totalität war vorüber. Alles erschien als das Werk eines Augenblicks, so rasch war uns die Zeit verflossen. Die zweite Platte zeigte bei der Entwicklung sonderbarer Weise nur ganz schwache Spuren

Fig. 83.

Totale Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868. (Aden.) (II. Bild.)

eines Bildes; vorüberziehende Wolkenschleier hatten im Augenblick der Exposition die photographische Wirkung fast gänzlich verhindert. Die dritte Platte, Fig. 83, (in der dritten Minute der Totalität) zeigte wieder zwei gelungene Bilder mit Protuberanzen am unteren Rande (im umkehrenden Teleskop). Das vierte Bild endlich (Fig. 84)

wurde im letzten Momente der Totalität aufgenommen und liess die bereits im dritten Bilde erschienenen Protuberanzen der westlichen Sonnenseite noch deutlicher hervortreten.

Wenn man die während des ganzen Verlaufes der Finsterniss photographisch aufgenommenen Protuberanzen

Fig. 84.

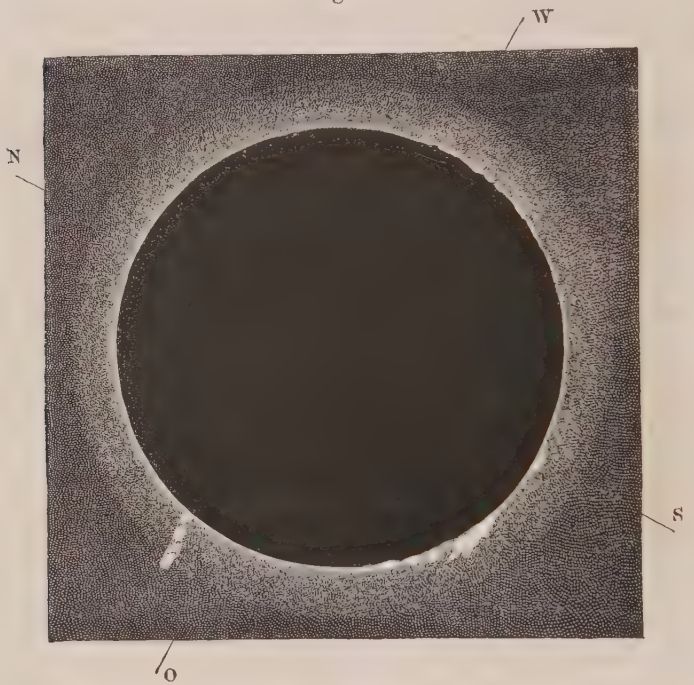
Totale Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868. (Aden.) (III. Bild.)

zu einem Bilde vereinigt (Fig. 85), so erhält man einen annähernd richtigen Gesammtanblick der Art und Weise, wie die Protuberanzen zur Zeit der Finsterniss um den Sonnenrand herum vertheilt waren. Die Lichtausstrahlungen der Corona waren in ihren chemischen Wirkungen zu schwach, um einen photographischen Eindruck auf den

präparirten Platten zu hinterlassen. Dieselben wurden jedoch auf allen Stationen im Teleskope und selbst mit freiem Auge in voller Pracht gesehen.

Die grosse Protuberanz am östlichen Sonnenrande

Fig. 85.



Vereinigung der beobachteten Protuberanzen zu einem Gesammtbilde.

hatte eine Höhe von ungefähr $^1/_{14}$ des Sonnendurchmessers oder gegen 14,000 geographische Meilen.

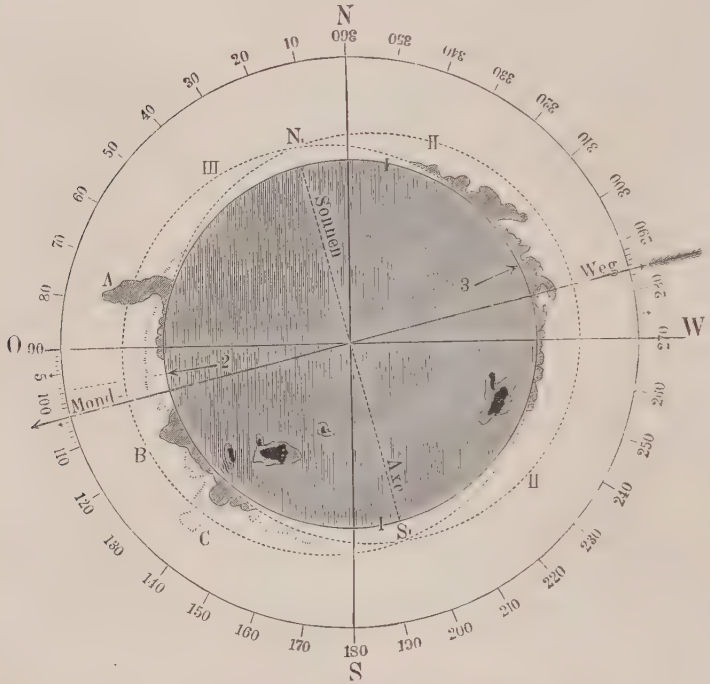
Wir besitzen gegenwärtig von den meisten Beobachtern mehr oder weniger sorgfältig ausgeführte Abbildungen der Totalität, auf denen die Protuberanzen verschieden an

Grösse und Lage eingezeichnet sind. Wenn wir absehen von solchen Bildern, die unter dem Aushängeschilde photographischer Copien in den Handel gebracht, in der That aber nach der Phantasie des Zeichners angefertigt und bloss auf Effect berechnet sind, so liegt der Grund zu der grossen Verschiedenheit dieser Bilder grösstentheils darin, dass die Sonnenscheibe selbst eine andere Lage zum Horizonte des Beobachters hat, wenn sie aufgeht, als zur Mittagszeit oder am Abende. Eine und dieselbe Protuberanz erscheint daher in einem Bilde, welches in der Frühe des Morgens in Aden aufgenommen wurde, in Bezug auf den Horizont anders, als in einem Bilde, welches um die Mittagszeit etwa auf Celebes gezeichnet wurde. Ausserdem aber liegt eine erhebliche Zeitdifferenz (circa sieben Stunden) zwischen dem Mittelpunkte der Totalität an dem einen Ende der Beobachtungszone in Aden und dem andern auf Celebes, und in dieser Zeit treten erwiesener Maassen grosse Veränderungen in der Lage und Grösse der Protuberanzen ein. Nimmt man noch dazu, dass das Bild der Totalität im astronomischen Fernrohre gesehen, sowohl in Bezug auf Rechts und Links, als auf Oben und Unten umgekehrt erscheint, so begreift man leicht, dass die einzelnen Bilder der Finsterniss, je nachdem sie an dem einen oder dem andern Orte mit dem blossen Auge oder mit einem umkehrenden Fernrohre beobachtet worden ist, sehr von einander abweichende Ansichten darbieten.

Wenn die Sonne zur Mittagszeit am höchsten steht, nennen wir ihren höchsten Punkt den wahren Nordpunkt, ihren tiefsten den Südpunkt. Richtet man dann das Gesicht zur Sonne, so liegt ihr Ostpunkt um 90 Grad

vom Nordpunkt entfernt zur Linken, der Westpunkt um ebenso viel zur Rechten. Wie man aus der Fig. 86 näher ersieht, rechnet man vom Nordpunkte (0 Grad) nach links über Osten (90 Grad), Süden (180 Grad), Westen (270 Grad)

Fig. 86.



Tennant's photographische Aufnahmen zu einem Gesammtbilde vereinigt.
(Guntoor, 18. August 1868.)

rund um den Sonnenrand herum, indem man diesen in 360 Grade eintheilt.

Betrachtet man dagegen zu irgend einer andern Tageszeit die Sonne, so bildet die auf der Sonnenscheibe gedachte und durch das Fadenkreuz leicht zu erhaltende

verticale Linie die scheinbare Nord-Südlinie, deren höchster Punkt der scheinbare Nordpunkt, der entgegengesetzte der scheinbare Südpunkt genannt wird. Es ist nun für den Astronomen leicht, an jedem Orte und zu jeder Zeit vermittelst der geographischen Breite und der Zeit der Beobachtung aus dem scheinbaren Nordpunkte den wahren abzuleiten. Nicht minder leicht ist es, mittelst geeigneter, zum Winkelmessen eingerichteter Fernrohre denjenigen Winkel zu bestimmen, den die scheinbare Nordsüdlinie der Sonne mit irgend einer vom Mittelpunkte nach dem Sonnenrande gezogenen Linie bildet. Wenn man daher für irgend einen am Rande der Sonne oder auf der Sonnenscheibe beobachteten Gegenstand, z. B. eine Protuberanz oder einen Sonnenfleck, diesen Winkel (scheinbare Position) misst, ihn auf die wahre Nordsüdlinie reducirt und den so gefundenen Winkel (die wahre Position) von dem Nordpunkte aus (s. Fig. 86) auf ein Bild der eingetheilten Sonnenscheibe einzeichnet, so erhält man in allen Fällen eine richtige Vorstellung von dem Orte, wo der beobachtete Gegenstand auf der Sonne sich vorgefunden hat, gleichgültig, welchen Stand die Sonne zur Zeit der Beobachtung am Himmel hatte. Da bei der Sonnenfinsterniss während der ganzen Totalität das Sonnencentrum nicht mit dem des Mondes zusammenfällt, so ist noch eine Correction erforderlich, um die am Umfange des Mondes gemessenen Winkel auf den der Sonne zu übertragen. Der Positionswinkel der grossen Protuberanz (Fig. 82 und 86) betrug gegen 80 Grad. Zur näheren Orientirung sind in der Fig. 82, so wie in den folgenden Bildern der Sonnenfinsterniss die vier wahren Hauptpunkte der Sonne angegeben.

Die photographischen Aufnahmen von Major Tennant in Guntoor sind weniger gelungen; die Expedition hatte keinen Photographen von Fach unter sich und die vorbereitenden Uebungen, welche Tennant und seine Assistenten unter der Leitung des ausgezeichneten Himmelsphotographen Warren de la Rue mit dem von Browning construirten vorzüglichen photographischen Spiegelteleskope auf der Sternwarte von Cranford gemacht hatten, erwiesen sich bei der tropischen Hitze, die zu Guntoor herrschte, als unzureichend.

Auch Tennant hatte bei seinen Arbeiten während der Finsterniss mit leichten Wolkenzügen zu kämpfen, die zwar das directe Sehen wenig behinderten, aber die chemische Wirksamkeit der Lichtstrahlen bedeutend schwächten. Schlimmer aber, als dieses, wirkte die Hitze, welche die Silbernitratlösung derart concentrirte, dass die Bilder, welche fast nichts anderes, als die Stellen der Protuberanzen zeigten, über und über mit Flecken bedeckt waren.

Tennant hat sechs Platten exponirt, auf denen sich die Protuberanzen deutlich genug abgezeichnet haben, um mit einander verglichen werden zu können. Auf allen Bildern erscheint dieselbe grosse Protuberanz, die auch auf den norddeutschen Photographien vorkommt, während der Anblick der übrigen, auf den einzelnen Platten noch vorkommenden kleineren Protuberanzen sich auf jeder Platte verschieden gestaltet. Warren de la Rue hat durch Aufeinanderlegung von vergrösserten Copien (etwas mehr als zwei Zoll im Durchmesser) der sechs Tennant'schen Originalbilder nach sorgfältiger Bestimmung des Sonnenmittelpunktes und unter Deckung der sechs grossen Protu-

beranzen eine Zeichnung hergestellt, Fig. 86, welche sowohl ein Bild von den meisten während der ganzen Finsterniss aufgetretenen Protuberanzen giebt, als auch den Anfang und das Ende der totalen Finsterniss, als ersten und zweiten inneren Contact deutlich erkennen lässt. In der Figur ist die Sonnenscheibe *I, I* schraffirt gezeichnet; *II, II* bezeichnet die Mondscheibe* beim zweiten (ersten inneren) Contacte 2, in dem Augenblick also, wo die Totalität begann und auf der östlichen Sonnenseite die grosse Protuberanz *A* sich zeigte; *III, III* ist die Mondscheibe beim dritten (zweiten inneren) Contacte 3; ausserdem ersieht man aus der Zeichnung die Lage der Sonnenachse, die Richtung, in welcher der Mondmittelpunkt sich von West nach Ost bewegte, und in punktirten Linien angedeutet über die Protuberanzen her auf der östlichen Seite ein eigenthümliches, schwach schimmerndes Licht, welches wegen des Glanzes der Corona und der Protuberanzen im Teleskope nicht gesehen worden ist und dessen Natur spätere Finsternisse vielleicht aufdecken werden. Die auf die Sonnenscheibe eingezeichneten Sonnenflecke sind diejenigen, welche am Tage der Finsterniss auf der Sternwarte zu Kew photographirt worden sind. Die Corona und der Strahlenkranz fehlen auch in diesen Photographien.

Die Expedition der Jesuiten aus Manila kam in Folge einer Beschädigung der Schiffsmaschine erst am Abende des 17. August auf ihrem Stationsort an, so dass keine photographische Vorübungen an Ort und Stelle getroffen werden konnten. Die während der Finsterniss genommenen

* Der grösseren Deutlichkeit wegen ist diese Scheibe ein wenig grösser gezeichnet worden, als es in der Wirklichkeit der Fall war.

acht Augenblicksbilder von den Hauptphasen gelangen; dagegen zeigte von den vier während der Totalität exponirten vier Gläsern nur das zweite, welches zwölf Secunden ausgesetzt blieb, eine schwache Spur der Corona. Diesem Mangel wurde aber glücklicherweise dadurch abgeholfen, dass gleich darauf das Bild der Totalität, wie es auf einer mit Schmirgel matt geriebenen Glastafel der Camera obscura erschien, auf dieser Tafel selbst durch Ueberfahren der Umrisse gezeichnet und fixirt wurde.

46. Die Corona und ihr Spectrum.

Die Fig. 87 giebt eine Ansicht der Totalität, wie sie sich zu Mantawaloc-Kekee in den letzen 2 Minuten 25 Secunden, also kurz vor dem Wiedererscheinen des ersten Lichtstrahls darstellte. „Kaum war," so schreibt der Berichterstatter dieser Expedition, P. F. Fauro, an P. Secchi in Rom,* „der letzte Strahl des Sonnenlichtes verschwunden, als sich wie durch Zauber die schöne Corona oder Aureola um die schwarze Mondscheibe zeigte; den Anblick, den sie gewährte, giebt die Fig. 87; aber die Farbe, mit welcher sie auftrat, kann auch von einem guten Maler nicht dargestellt werden. Alle Beobachtenden stimmen darin überein, dass ihre Farbe der der Perlmutter oder des angelaufenen Silbers glich, aber von einer viel intensivern und schöner aussehenden Helle war. Die Corona

* Den ausführlichen Bericht findet man in „Natur und Offenbarung" 1869, P. 145, von Professor Heis aus dem „Bulletino meteorologico dell' Osservatorio del Collegio Romano" (Vol. VII. Nr. 12) mitgetheilt.

hatte drei Haupttheile; der erste bestand aus einem schmalen weissen, intensiven, regelmässigen Lichte, das dicht an

Fig. 87.

Totale Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868 zu Mantawaloc-Kekee.

dem Rande des Mondes ausströmte; der zweite basirte auf dem ersten, indem er stufenweise an Intensität abnahm,

seine Form war noch ziemlich regelmässig; der dritte Theil endlich bestand in einer ausserordentlich grossen Anzahl von Strahlen, die mehr oder weniger intensiv, aber sehr unregelmässig, einige sogar so weit verlängert waren, dass sie um mehr als das Doppelte den Monddurchmesser übertrafen. Die Strahlen änderten von einem Augenblick zum andern ein wenig den Anblick, und unter ihnen verdient eine etwas hellere Linie, die man das untere (?) Bündel der Strahlen schräg durchschneiden sieht, eine besondere Beachtung. Diese Linie stellt einen Lichtstrahl vor, der fünf Minuten nach dem Beginne der totalen Finsterniss erschien und die übrige Zeit hindurch bis zum Ende blieb.“*

Aus den Mittheilungen der verschiedenen Expeditionen ergiebt sich, dass der Anblick des Strahlenkranzes der Corona an den einzelnen Stationsorten ein sehr verschiedener gewesen ist, was darauf hindeutet, dass das Licht desselben nicht directes Sonnenlicht ist. Während die eigentliche Corona oder der helle Lichtring, welcher sich an die dunkle Mondscheibe unmittelbar anschliesst, gewiss der Sonne angehört, sind die Strahlen wahrscheinlich nichts anderes, als die an dem dunkeln und unebenen Mondkörper reflectirten Sonnenstrahlen, welche in die Atmosphäre der Erde gelangen und von dieser in ähnlicher Art unserm Auge durch Reflexe sichtbar gemacht werden wie es mit den directen Sonnenstrahlen geschieht, wenn sie durch eine Lücke der Wolken hervorbrechen. Der Mond setzt

* Aehnliche Erscheinungen beobachteten Mayette und Dalbiez bei der totalen Sonnenfinsterniss von 1842 zu Perpignan und Stenglein bei der Finsterniss vom 18. Juli 1860 zu Pobes.

in seiner fortschreitenden Bewegung den Sonnenstrahlen nicht immer dieselbe Fläche entgegen; seine Oberfläche ist ebenfalls sehr unregelmässig gestaltet, die Sonnenstrahlen werden daher von dem Mondkörper sehr unregelmässig zurückgeworfen und die Reflexe werden je nach dem Standorte auf der Erdoberfläche einen sehr verschiedenartigen Anblick darbieten. Ob und in wie fern der Strahlenkranz mit den Protuberanzen im Zusammenhang stehe, ist noch nicht ausgemacht.

Bezüglich der eigentlichen Corona stimmen die Beobachtungen auf allen oben genannten Stationen darin überein, dass während der Totalität der Finsterniss nicht alles Licht ausgelöscht erschien, sondern gleich nach dem ersten Verschwinden der Sonne (beim 2. Contacte) die tief schwarze Mondscheibe mit einem schmalen, sehr weissen und glänzenden Lichtringe umgeben war, aus welchem an verschiedenen Stellen die blassrothen Protuberanzen hervortraten. Sowohl die österreichischen, als die französischen Beobachter Stephan, Tisserand und Janssen sprechen sich über das Auftreten des intensiv leuchtenden, sehr schmalen Ringes unmittelbar um den Mondrand herum sehr bestimmt aus, und es unterliegt hiernach kaum noch einem Zweifel, dass die nächste Umgebung der Sonne stark leuchte, die Lichtstärke aber in einiger Entfernung rasch abnehme.

Die verschiedenen an der Corona gemachten Spectralbeobachtungen stimmen ebenfalls im Wesentlichen überein. Dr. Weiss, der Führer der österreichischen Expedition in Aden, berichtet darüber folgendermassen: „Am Tage der Finsterniss war der Himmel, als wir aufstanden, fast

völlig bedeckt, und besonders im Osten lagerten dichte Wolkenbänke. Hoffnungslos gingen wir daher an die Vorbereitung für die Beobachtungen, schöpften jedoch wieder etwas Muth, als gegen 6 Uhr Morgens in der Nähe der Sonne einige Wolkenlücken sich zeigten. Endlich erblickten wir etwa zehn Minuten vor der Totalität in einer solchen die schon recht schmale Sonnensichel auf einige Augenblicke; aber erst fünf Minuten vor dem so lange ersehnten Momente der totalen Finsterniss trat das Doppelgestirn in eine klarere Stelle des Himmels, in welcher es während der ganzen Dauer der Totalität verweilte und uns so die Ausführung aller Beobachtungen ermöglichte, die wir uns vorgenommen hatten.

Die Spectraluntersuchungen führte Schiffslieutenant Rziha aus; derselbe bemerkte beim Eintritte der Totalität ein plötzliches Verschwinden aller dunkeln Linien und es ging dadurch das Spectrum in ein allerdings blasses, aber noch vollkommen deutlich sichtbares continuirliches über. Gegen das Ende der Totalität, als ein dünner Wolkenschleier sich über die Sonne gezogen hatte, durch den die Corona verdeckt wurde, die Protuberanzen aber noch hindurch leuchteten, verschwand im Spectrum der stärker leuchtende Theil fast vollständig und es blieb nur noch eine Reihe rother, durch breite dunkle Zwischenräume von einander getrennter Bänder zurück."

Major Tennant erhielt in Guntoor ebenfalls von dem Lichte der Corona nur ein schwaches continuirliches Spectrum; er giebt jedoch zu, dass dieses Spectrum auch wohl noch schwache Linien gehabt haben möchte, die er nicht hätte wahrnehmen können, weil er, um überhaupt

etwas zu sehen, den Spalt seines Instrumentes weit geöffnet habe, und folglich die Linien wohl in einander hätten verfliessen müssen.

Wir haben bereits früher, S. 195, erwähnt, dass man erwartet hatte, die Corona als absorbirende Sonnenatmosphäre werde, wenn das Licht des glühenden Sonnenkerns durch den Mond von uns abgehalten werde, die Spectra der in ihr glühenden Gase in hellen Linien zeigen. Wir wiesen indessen auch nach, dass das Nichterscheinen solcher Linienspectren noch keineswegs als ein Argument gegen die Kirchhoff'sche Ansicht von der physischen Constitution der Sonne dienen könne, weil das Licht dieser Atmosphäre während der Finsterniss zwar glänzend, aber doch nicht intensiv genug sei, um bei der grossen Entfernung der Sonne von uns in den gewöhnlichen Spectralapparaten noch ein deutliches Linienspectrum zu geben. Es ist aber ausserdem noch zu beachten, dass in dem Sonnenspectrum mehrere Tausende von dunkeln Linien vorkommen, die nur dann scharf hervortreten, wenn der Spalt des Spectroskops sehr enge gestellt wird. Um aber während der Finsterniss das Spectrum der Corona zu beobachten, muss der Spalt weiter geöffnet werden, wodurch dann auch die den dunkeln Linien entsprechenden hellen Linien breiter werden. Aus der Uebereinanderlagerung aber von mehreren, aus Tausenden farbigen Streifen bestehenden Spectren, deren Bänder wegen ihrer Breite und geringen Lichtfülle sich nicht mehr scharf trennen, sondern in einander verfliessen, muss offenbar ein continuirliches Spectrum hervorgehen. Das wesentlichste Moment dieser Beobachtungen besteht in dem plötzlichen und völligen Verschwinden

der dunkeln Fraunhofer'schen Linien, wie man es nach der Kirchhoff'schen Theorie erwarten musste; es ist keineswegs unmöglich, dass spätere Beobachtungen der Corona mit lichtcondensirenden Spectroskopen das continuirliche Spectrum derselben in Linienspectra auflösen werden.

47. Die Protuberanzen und ihr Spectrum.

Die Beobachtungen der totalen Sonnenfinsterniss vom 18. Juli 1860 in Spanien, bei welcher die Protuberanzen sowohl photographisch aufgenommen (Fig. 76), als auch von den hervorragendsten Astronomen mit Teleskopen untersucht worden waren, liessen es kaum noch zweifelhaft erscheinen, dass diese merkwürdigen Gebilde gasiger Natur seien und nicht dem Monde, sondern der Sonne angehörten. Die Finsterniss vom 18. August 1868 sollte Gelegenheit geben, hierüber völlige Gewissheit zu erlangen.

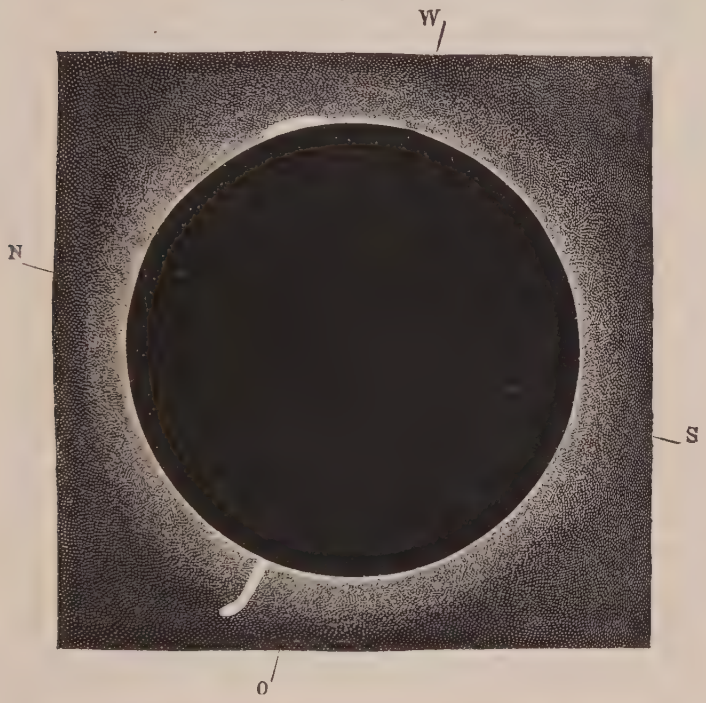
Die Spectralanalyse giebt uns ein Mittel an die Hand, zu erkennen, ob ein glühender und leuchtender Körper fest oder flüssig ist, oder sich im gasförmigen Zustande befindet; im ersten Falle ist sein Spectrum continuirlich, im letzteren besteht dasselbe aus hellen farbigen Linien.

In demselben Augenblicke, als die Corona sich zeigte, erschienen auch die ersten Protuberanzen und zwar auf der östlichen Seite der Sonne gerade an der Stelle, wo der letzte Lichtstrahl im Beginne der Totalität verschwand. Die erste derselben, links von der Vertikalen (Fig. 82) war von einer ausserordentlichen Höhe und leuchtete mit einem intensiven rosenfarbigen Lichte; die andere, auf der rechten Seite der Vertikalen, hatte dieselbe Farbe und

Lebhaftigkeit, wie jene, war aber nicht so hoch und nicht so schön an Gestalt.

Fig. 88 zeigt die grosse Protuberanz, wie sie auf dem Dampfer „Rangoon“ im Beginne der Totalität beobachtet

Fig. 88.



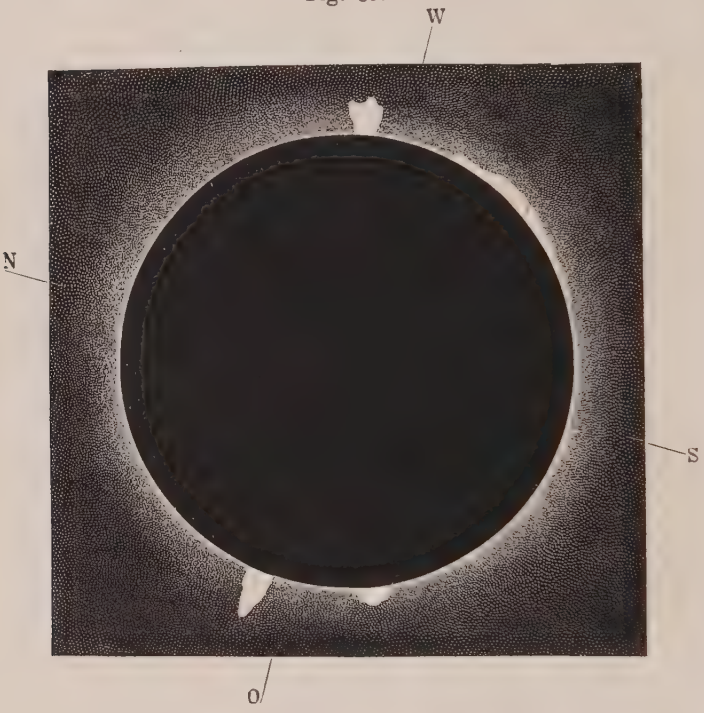
Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868, beobachtet auf dem Dampfer „Rangoon.“

wurde; fast gleichzeitig erschien auf der entgegengesetzten Seite eine kleinere, aber weiter ausgedehnte Protuberanz.

Fig. 89 enthält die Protuberanzen, wie sie in Wha-Tonne von Stephan im Verlaufe der Totalität aufgezeichnet wurden.

Fig. 90 schliesst sich an die vollständigere, in Fig. 87 gegebene Abbildung der Totalität an, und stellt bloss die Protuberanzen dar, wie sie in den letzten 2 Min. 25 Sec. vor dem Ende der Totalität zu Mantawaloc-Kekee von

Fig. 89.



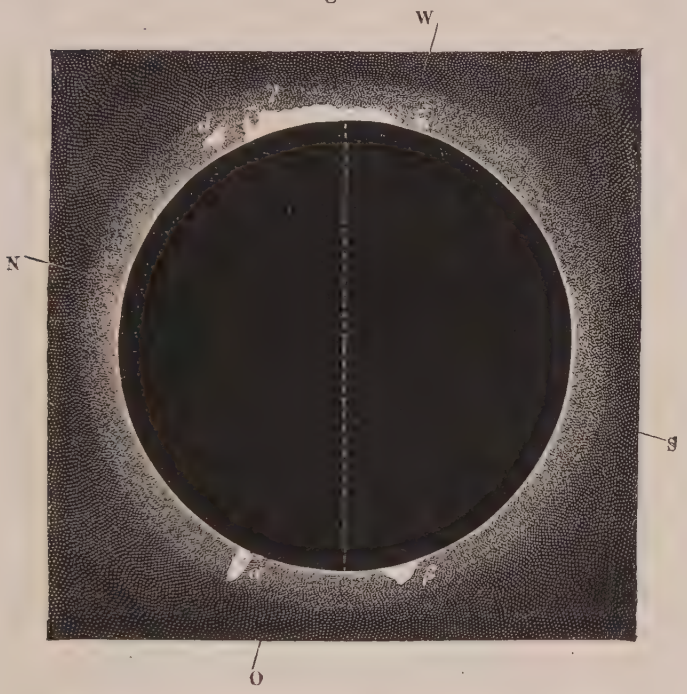
Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868, beobachtet in Wha-Tonne von Stephan.

den Jesuiten aus Manila beobachtet wurden. Unter Zugrundlegung dieser letzteren Abbildung theilen wir den Bericht des P. Fauro an Secchi im Auszuge mit.

Die Ausdehnung der grossen Protuberanz α betrug in der Breite 1 Grad 40 Minuten, die andere β hatte eine

Basis von 9 Grad. Kaum waren diese beiden Protuberanzen erschienen, als auch auf der westlichen Seite der Sonne eine dritte γ hervorbrach, die langsam so, wie der Mond von Westen nach Osten vor der Sonne weiterrückte (s. Fig. 86),

Fig. 90.



Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868, beobachtet zu Mantawaloc-Kekee.

immer grösser und schöner ward. Die Erscheinung, allmählich die Protuberanzen der östlichen Seite verschwinden und gleichzeitig die der westlichen Seite sich ausdehnen und wachsen zu sehen, war deutlich und von allen Beobachtern wahrgenommen. Die Höhen der beiden Protu-

beranzen α und β wurden gleich bei ihrem Erscheinen zu 3 Min. 10 Sec. und 1 Min. 15 Sec., bei einer Wiederholung der Messung nach drei Minuten zehn Secunden aber, also gegen die Hälfte der Totalität, zu 2 Minuten 12 Sec. und 0 Min. 18 Sec. gefunden.* Die Protuberanz γ, die man anfangs mit Mühe sah, deckte sich in dem Maasse, wie sich der Mond bewegte, stufenweise auf, und war, als sie ganz sichtbar war, einer langen Gebirgskette ähnlich. Zur Linken endigte sie ganz rein und wie abgeschnitten; rechts nahm sie an Höhe ab und vermischte sich mit der dunkeln Mondscheibe an der Stelle, wo der unregelmässigste Theil der Corona war.

In derselben Fig. 90, links von der Protuberanz γ, zeigte sich eine vierte δ, die völlig von der andern getrennt war und eine Wolke zu sein schien.** Die Farbe war weder so lebhaft, noch so gleichförmig, wie die der andern, und es zeigten sich in ihr etwas dunkle Striche, wie sie auch sonst noch in den Protuberanzen wahrgenommen worden sind; ihre Ausdehnung betrug 5 Grad 30 Minuten. Endlich wurde eine halbe Minute vor dem Ende der Totalität auf der rechten Seite der Kette von rosenfarbenen Spitzen noch eine kleine freischwebende Protuberanz ε gesehen, die mit δ viele Aehnlichkeit hatte.

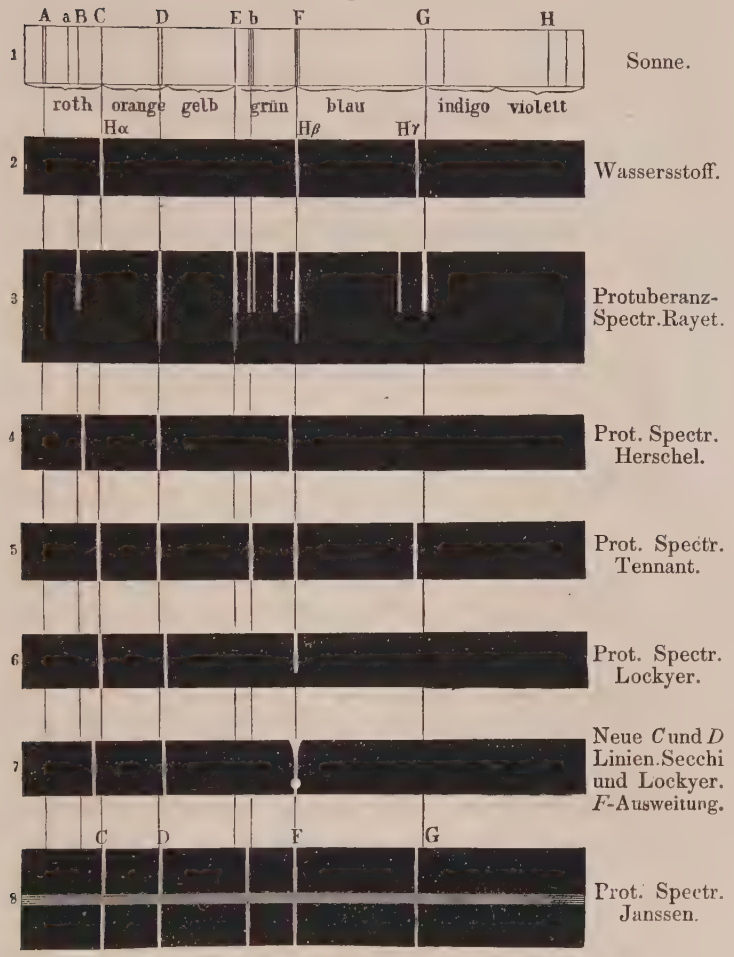
Die Farbe der Protuberanzen wird von den verschiedenen Beobachtern nicht in gleicher Weise bezeichnet; die meisten wählen dafür den Ausdruck blassroth, andere scharlachfarben röthlich, wieder andere rosenroth, oder blasskorallenroth und Tennant nennt sie sogar weiss.

---

* 1 Secunde = 98,04 geographischen Meilen.

** Spätere Beobachtungen von Zöllner haben mehrfach dieselben Formen ergeben.

Fig. 91.



Verschiedene Spectra der Protuberanzen.

Das Spectrum der Protuberanzen wurde von Herschel in Samkhandi, von Haig in Beejapore, von Tennant und Janssen in Guntoor, von Rayet und

Hatt in Wha Tonne übereinstimmend als aus wenigen hellen Linien bestehend erkannt und damit constatirt, dass diese Gebilde aus glühenden Gasen bestehen, in denen das Wasserstoffgas der vorwiegende Bestandtheil ist. Das Spectrum dieses Gases ist bekanntlich durch drei helle Linien charakterisirt (Farbentafel Nr. 7), von denen die erste rothe mit der Fraunhofer'schen Linie *C*, die zweite grünblaue mit der Linie *F* übereinstimmt, die dritte dunkelblaue aber nahe vor der Linie *G* liegt. (V. Fig. 40 Nr. 2.)

Die Fig. 91 enthält ausser den beiden Vergleichspectren Nr. 1 (den Hauptlinien des Sonnenspectrums) und Nr. 2 (den Hauptlinien des Wasserstoffgases) in Nr. 3, 4, 5 und 6 die Spectra der Protuberanzen, wie sie von Rayet, Herschel, Tennant und Lockyer beobachtet worden sind.

Rayet, welcher sein Spectroskop à vision directe vorzugsweise auf die grosse Protuberanz gerichtet hielt und es in alle Stellungen zu derselben brachte, gewahrte neun helle Linien, entsprechend den dunkeln Linien *B*, *D*, *E*, *b*, *F*, *G*, ausserdem eine grüne Linie zwischen *b* und *F* und eine blaue vor *G* (Nr. 3). Diese Linien erschienen sehr hell auf dunkelm Grunde, so dass ihre Lage leicht festgestellt werden konnte. Die hellen Linien *D*, *E*, *F* erschienen im umkehrenden Fernrohre des Spectroskops feiner und schwächer nach unten verlängert, also von dem Sonnenrande abgekehrt, was darauf hindeutet, dass ein Theil der glühenden Gasmasse, aus welcher die Protuberanz bestand, sich in stark verdünntem Zustande hoch aufwärts in die Sonnenatmosphäre hinein erstreckte.

Herschel (Nr. 4) beobachtete mit einem dreiarmigen

Spectralapparat, der für diese Zwecke besonders construirt und zu Messungen der Spectrallinien eingerichtet war. Bei dem ersten Blick nach der Protuberanz erschien das Spectrum in der Form von drei lebhaft glänzenden Linien, von denen die orangefarbene mit D zusammenfiel, die rothe aber weder mit B noch mit C und ebenso die blaue nicht mit F zu stimmen schien.

Tennant (Nr. 5) benutzte ein Spectroskop ähnlich demjenigen, welches von Huggins zu seinen Untersuchungen über die Spectra der Fixsterne und der Nebelhaufen angewandt wird. Das Protuberanz-Spectrum zeigte sich ihm in der Form von fünf hellen Linien, von denen drei mit C, D und b genau übereinstimmten, die grünblaue jedenfalls sehr nahe an F und die dunkelblaue nahe bei G lag. Zu genaueren Messungen dieser letzteren Linien fehlte es an Zeit; aus den Beobachtungen von Rayet geht indessen wohl mit Gewissheit hervor, dass die erste dieser zweifelhaften Linien wirklich mit F, die andere aber mit der vor G liegenden Wasserstofflinie $H\gamma$ zusammenfiel.

Janssen sandte die erste telegraphische Nachricht nach Europa, dass das Spectrum der Protuberanzen aus glänzenden Linien bestehe und demnach dieselben ungeheure glühende Gassäulen seien, deren Hauptbestandtheil das Wasserstoffgas ausmache. Bei der Beobachtung wurde der Spalt dicht an dem vorrückenden Mondrande gehalten, tangential an dem Punkte, wo die letzten Sonnenstrahlen verschwinden mussten. Mit dem Erlöschen des letzten Strahles zeigten sich plötzlich zwei neue, aus fünf oder sechs hellen Linien bestehende Spectra (Fig. 91 Nr. 8); die Linien waren roth, gelb, grün, blau, violett, und beide Spectra,

die durch einen dunkeln Zwischenraum von einander getrennt waren, entsprachen sich Linie für Linie vollständig. Als Janssen das Spectroskop verliess und einen Blick in den Sucher (Fernrohr) warf, erkannte er sogleich, dass die beiden Spectra von zwei prachtvollen Protuberanzen herrührten, welche rechts und links von dem Punkte, wo der letzte Sonnenstrahl verschwunden war, auf dem schwarzen Mondrande glänzten. Eine derselben erreichte eine Höhe von drei Minuten und glich einer Hohofenflamme, welche von der Gebläseluft gewaltsam angefacht mit grosser Heftigkeit aus dem Ofen hervorbricht; die andere gewährte den Anblick einer zusammenhängenden Kette von weit ausgedehnten Schneegebirgen, die auf dem Mondrande aufzuruhen und in dem röthlichen Scheine der untergehenden Sonne zu glänzen schienen. Da die Hauptlinien des Spectrums mit den Fraunhofer'schen Linien *C* und *F* zusammenfielen, so erklärte Janssen sofort, dass das Wasserstoffgas einen wesentlichen Bestandtheil der Protuberanzen ausmache.

Aus dem Umstande, dass der Zwischenraum zwischen den beiden Spectren der gesehenen Protuberanzen dunkel erschien, glaubte derselbe Beobachter zu dem Schlusse berechtigt zu sein, dass die Ergebnisse seiner Untersuchungen nicht mit der Kirchhoff'schen Theorie im Einklange ständen. Der Raum zwischen den beiden Protuberanzen, so meinte Janssen, müsste doch mit der von Kirchhoff angenommenen Sonnenatmosphäre erfüllt sein und dieser Theil hätte daher im Spectroskope, anstatt dunkel zu erscheinen, ein aus hellen Linien bestehendes Spectrum liefern müssen. Da dieses nicht der Fall sei, so sei auch die

Kirchhoff'sche Ansicht, dass das weisse Licht des festen oder glühenden Sonnenkerns von den glühenden Dämpfen einer Atmosphäre theilweise absorbirt werde, unstatthaft; diese Absorption müsse daher nicht ausserhalb der Photosphäre, d. h. des lichterzeugenden Theiles der Sonne, sondern nothwendig innerhalb derselben, also in den weissglühenden Dämpfen und von den sich daselbst condensirenden flüssigen oder festen Partikelchen der photosphärischen Nebelmasse ausgeübt werden.

Wie wenig Gewicht diesen Einwürfen von Janssen beizumessen ist, ergiebt die einfache Bemerkung, dass, wenn derselbe überhaupt gar kein Spectrum der nächsten Sonnenumgebung wahrnehmen konnte, dieses seinen Grund darin hat, dass der Spalt seines Spectroskopes behufs deutlicher Beobachtung der hellen Protuberanzen-Linien viel zu enge war, um zugleich auch von den übrigen lichtschwachen Theilen der Sonnenumgebung noch ein Spectrum zu erhalten, so wie der Hinweis, dass sowohl Rziha, als auch Tennant von diesen Theilen ganz unzweideutige, wenn auch nur schwache Spectra erhalten haben. Die Beobachtung Janssen's berechtigt zunächst nur zu der Schlussfolgerung, die auch von den andern Beobachtern gemacht worden ist, dass das Licht der Protuberanzen viel intensiver ist, als das der Sonnenatmosphäre, selbst in der nächsten Nähe des Sonnenrandes oder der Corona.

Fassen wir alle am 18. August 1868 gemachten spectralanalytischen Beobachtungen der Sonnenfinsterniss zusammen, so gelangen wir mit Ausscheidung des minder Wichtigen zu folgenden bedeutungsvollen Resultaten:

1) Das Licht der Corona ist stark polarisirt, das der

Protuberanzen nicht; jenes ist daher möglicherweise Reflexlicht, dieses wird von selbstleuchtenden glühenden Materien ausgestrahlt.

2) Das Spectrum der Corona ist schwach und anscheinend continuirlich; das Licht derselben ist weit weniger intensiv, als das der Protuberanzen.

3) Das Spectrum der Protuberanzen besteht aus einigen hellen, intensiv leuchtenden Linien, unter denen die Wasserstofflinien $H\alpha = C$, $H\beta = F$ und $H\gamma$ nahe bei G besonders hervortreten.

4) Die Protuberanzen sind glühende Gasmassen, vorzugsweise glühendes Wasserstoffgas; sie hüllen den ganzen Sonnenkörper ein, oft auf äusserst weite Strecken nur in einer niedrigen Schicht, oft auch in massenhaften, localen Anschwellungen, die zuweilen eine Höhe von zwanzigtausend Meilen und mehr erreichen.

48. Beobachtung des Protuberanzen-Spectrums bei Sonnenschein. — Die Umgebung des Sonnenkörpers.

Schon im October 1866 theilte J. Norman Lockyer der Royal Society zu London eine Methode mit, um das Spectrum der Protuberanzen zu jeder Zeit, wenn die Sonne scheint, zu beobachten; aber seine Bemühungen blieben ohne Erfolg, weil die von ihm angewandten Spectralapparate eine zu geringe Dispersionskraft hatten.

Als Janssen bei der Beobachtung der Sonnenfinsterniss von dem ausserordentlichen Glanze der Protuberanz-Linien überrascht wurde, rief er bei dem Wiedererscheinen

der Sonne und dem Verschwinden der Protuberanzen aus: „Je reverrai ces lignes là en dehors des éclipses!“ Aber Wolken verhinderten ihn, noch am selbigen Tage seine Absicht auszuführen. Am 19. August war er vor Tagesanbruch aufgestanden, um den Sonnenaufgang zu beobachten. Kaum hatte sich das Tagesgestirn in seinem vollen Glanze über den Horizont erhoben, als es ihm gelang, das Spectrum der Protuberanzen in voller Klarheit zu sehen. Der Anblick des vorigen Tages war vollständig verändert. Die Vertheilung der Gasmassen war rings um die Sonne herum eine ganz andere geworden, und von der grossen Protuberanz waren kaum noch einige Spuren übrig geblieben. Von diesem Tage an studirte Janssen in Indien siebzehn Tage lang hintereinander die Protuberanzen und entwarf Zeichnungen, aus denen hervorging, dass diese Gasmassen mit ausserordentlicher Geschwindigkeit Gestalt und Ort verändern. Der Bericht von Janssen, in welchem er seine neue Entdeckung dem französischen Minister des Unterrichts mittheilt, ist vom 19. September aus Koranada datirt.

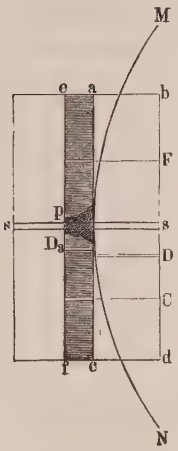
Lockyer hatte inzwischen sein Instrument verbessert; aber erst am 16. October 1868 kam er in den Besitz desselben, als die Nachricht von der Entdeckung Janssen's Europa längst erreicht hatte. Am 20. October war das Telespectroskop* so weit aufgestellt, dass damit Beobachtungen angestellt werden konnten, und noch an demselben Tage konnte Lockyer an die Royal Society in London schreiben:

* Wir bezeichnen mit diesem Ausdrucke die Verbindung eines durch Uhrwerk bewegten Teleskopes mit einem Spectroskope von grosser Dispersionskraft.

„Ich habe diesen Morgen mit vollständigem Erfolge das Spectrum einer Sonnenprotuberanz erhalten und beobachtet. Das Resultat ist das Auftreten von drei hellen Linien in folgender Lage (Fig. 91, Nr. 6): 1) eine Linie vollständig coincidirend mit *C*, 2) eine Linie coincidirend mit *F*, 3) eine Linie nahe bei *D*.“

Diese dritte immer sehr feine Linie nahe bei *D* ist um neun bis zehn Grade der Kirchhoff'schen Scala brechbarer, als die brechbarste der beiden *D*-Linien (d. h. sie liegt weiter nach dem Grün hin) und wird bezeichnet mit D^3.*

Fig. 92.



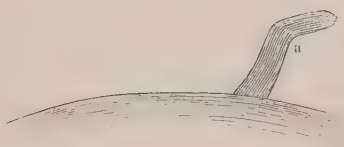
Spectrum der Protuberanzen.

In einer folgenden Mittheilung an Warren de la Rue erklärt Lockyer, dass die Protuberanzen bloss locale Anhäufungen einer glühenden gasigen Materie seien, welche die ganze Sonne einhülle, und dass er auf allen Seiten der Sonne das charakteristische Spectrum der Protuberanzen wahrnehmen könne. Er giebt die Dicke dieser Gashülle auf ungefähr tausend geographische Meilen an, macht die Mittheilung, dass das reine Spectrum einer Protuberanz aus kurzen hellen Linien bestehe, dass aber, wenn man den Spalt *ss*, Fig. 92, des Instrumentes auf den äussersten Rand *NM* der Sonne richte und ihn dann senkrecht zu der Tangente *ac* dieser Randstelle fixire, sich ein schmaler Streifen *abcd* des Sonnenspectrums zeige, befranst von

* Nach Dr. F. Tietjen liegt sie auf 1014,8 der Kirchhoff'schen Scala.

dem matten Spectrum *aefc* der Luft und der Protuberanz *p*. Da sich auf diese Weise die hellen Linien der Protuberanz dicht an das Sonnenspectrum anschliessen oder auch die Verlängerungen der Fraunhoferschen Linien des letzteren bilden, so lasse sich mit grosser Genauigkeit fesstellen, welche helle Protuberanz-Linien mit Fraunhofer'schen Linien zusammenfallen und welche nicht. Wenn das Spectroskop nach dieser Methode auf den äussersten Rand der Sonne eingestellt und dann der Spalt rund um den Rand herumgeführt

Fig. 93.



Zeichnung einer Protuberanz vermittelst einer ihrer Spectrallinien.

werde, so könne man nicht bloss sofort das Spectrum der Protuberanzen wahrnehmen, sondern auch, da diese Linien nur da entstehen, wo eine Wasserstoff-Ansammlung vorhanden ist, aus der grösseren oder kleineren Länge der hellen Linien fast mit derselben Genauigkeit wie bei einer Sonnenfinsterniss eine Zeichnung von der Figur und der Lage der Protuberanzen rund um die Sonne herum entwerfen.

Die Fig. 93 zeigt eine Protuberanz, deren Gestalt Lockyer nach dieser Methode beobachtet und gezeichnet hat. Da die Höhe der hellen Linien, z. B. der blaugrünen *F*-Linie, von der Höhe der Protuberanz, auf welche der

Spalt des Spectroskops gerichtet ist, abhängt, und diese Linien nur dann im Sehfelde des Instrumentes erscheinen, wenn das Licht des glühenden Gases in den Spalt einfällt, so ist leicht einzusehen, dass man seine Aufmerksamkeit nur auf eine dieser hellen Linien zu richten braucht, um die ganze Gestalt der Protuberanz bestimmen zu können. Gewahrt man nämlich eine solche Linie von einiger Höhe, so hat man eine Protuberanz in Sicht; dreht man dann den Spalt langsam nach rechts und nach links, so verkürzt oder verlängert sich die Linie, je nachdem die Protuberanz niedriger oder höher wird; oder sie erscheint unterbrochen, zweitheilig, oder, wie bei der Stelle *a*, isolirt von dem Spectrum, welches das Tageslicht erzeugt, je nachdem die Protuberanz selbst unterbrochen oder von dem Sonnenrande getrennt ist.

Lockyer hat unzweifelhaft die Idee, die Protuberanzen zu jeder Tageszeit, wo die Sonne scheint, zu beobachten, zuerst ausgesprochen und eine Methode dazu angegeben; Janssen, dem die Methode Lockyer's hätte bekannt sein müssen, hat dieselbe zuerst in Ausführung gebracht. Unter solchen Umständen lässt sich nicht darüber streiten, wem das Recht der Priorität dieser wichtigen Entdeckung zur Seite steht; der Ruhm, der sich daran anknüpft, ist übrigens gross genug, dass sich die beiden Gelehrten darein theilen können.

Die Möglichkeit, bei hellem Sonnenscheine die Spectrallinien der Protuberanzen zu beobachten, liegt in der Verschiedenheit der beiden Spectren des Sonnenlichtes und der Protuberanzen; jenes ist, abgesehen von den dunkeln Linien, continuirlich; dieses besteht bloss aus einigen

wenigen hellen Linien. Wenn nun beide Spectra gleichzeitig im Spectroskope erscheinen, so wird in den gewöhnlichen Instrumenten das äusserst intensive continuirliche Spectrum das Linienspectrum überwuchern und nicht zur Wahrnehmung gelangen lassen. Nun kann man aber durch Vermehrung der Prismen die Spectra immer mehr ausdehnen (S. 186); geschieht dieses, so wird das continuirliche Sonnenspectrum an Intensität bedeutend geschwächt und kann bei einer hinreichend grossen Anzahl von Prismen fast zum Verschwinden gebracht werden; das Licht der Protuberanzen dagegen besteht nur aus sehr wenigen Farben, welche durch die vermehrte Dispersion zwar weiter aus einanderrücken, aber einzeln nur verschoben, nicht aber erheblich geschwächt werden und sich daher als sehr glänzende Linien im Spectroskope zu erkennen geben. So kommt es, dass bei Anwendung eines stark zerstreuenden Spectroskops das blendende Licht der Sonnenumgebung seine Kraft verliert, wogegen die glänzenden Linien der Protuberanzen ihre Intensität beibehalten und sogar auf der Sonnenscheibe selbst beobachtet werden können. Je grösser daher die Lichtzerstreuung des Instrumentes ist, desto glänzender zeigen sich die farbigen Protuberanzlinien.

Auf diese Wahrnehmungen hat Lockyer seine Methode, das Protuberanzspectrum mittelst eines Telespectroskops (Fig. 94), bei Sonnenschein zu beobachten, gegründet. Man richtet hiernach den Spalt eines stark zerstreuenden Spectroskopes *dceh*,* welches vermittelst

* Das Instrument von Lockyer hat 7 Prismen.

des Schlittens *aab* an ein durch Uhrwerk getriebenes, parallaktisch montirtes Teleskop *LTP* festgeschraubt ist, senkrecht zu einem Randtheile des Sonnenbildes, welches

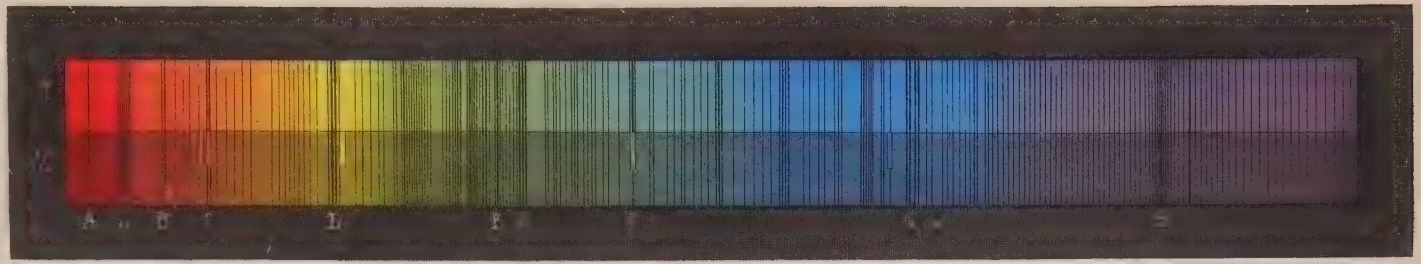
Fig. 94.

J. Norman Lockyer (Porträt) an seinem Telespectroskope.

von dem Teleskope erzeugt wird. Wenn man dann das Ocularrohr *e* des Spectroskops von einem Ende des Spectrums bis zum andern bewegt und jedesmal scharf einstellt, so erscheinen die hellen Linien der Protuberanzen als Verlängerungen der dunkeln Linien des der

Spectrum des Sonnenrandes

1. der Sonnenscheibe
2. der angrenzenden Atmosphäre



Ged. b. A. Meermann. München

H. Bruch fec

Sonnenscheibe angehörigen Spectrums auf einem bedeutend abgeschwächten Spectrum der Erdatmosphäre. In der Abbildung ist S der Sucher, g ein Handgriff zum Einstellen des Teleskops in die Declination, d das Rohr mit dem Spalte, h ein kleines Fernrohr zum Ablesen des durch aa theilweise verdeckten Mikrometerkopfes.

Die hier beigefügte farbige Tafel zeigt die beiden vollständigen Spectra 1 und 2, welche das Telespectroskop giebt, wenn sein Spalt, wie in Fig. 92, senkrecht zu dem Rande der Sonne, also in der Richtung des Sonnenradius so gestellt wird, dass die eine Hälfte auf die Sonnenscheibe fällt, die andere aber über diese hinaus reicht.* Das durch die starke Lichtzerstreuung bereits sehr abgeschwächte, aber immer noch glänzende Sonnenspectrum 1 enthält die Fraunhofer'schen Linien in schärfster Ausprägung. In der andern Hälfte des Sehfeldes dagegen ist das Luftspectrum 2 sehr schwach und kann bei gehöriger Vermehrung der Prismen bis zum Verschwinden gebracht werden; in diesem Spectrum treten die hellen Wasserstofflinien auf, $H\alpha$ in der Verlängerung von C, $H\beta$ an F, $H\gamma$ nahe vor G, so wie die noch unbekannten Linien vor C und D^3 hinter D.

Gleich nach dem Eintreffen der telegraphischen Nachricht von der Entdeckung Janssen's begann auch P. Secchi in Rom seine spectralanalytischen Untersuchungen der Protuberanzen. Er bediente sich eines Spectroskops mit zwei vorzüglichen, stark brechenden Flintglasprismen,

* Die beiden Spectra sind getreue Copien einer von Secchi in Rom angefertigten colorirten Originalzeichnung, deren Mittheilung wir Herrn Professor Heis in Münster verdanken.

welches auch die feinen, bei *B* und *A* befindlichen Fraunhofer'schen Linien deutlicher kennen liess. Schon bei dem ersten Versuche zeigten sich, als der enge Spalt auf den Rand der Sonnenscheibe eingestellt wurde, im Luftspectrum die Linien *C* und *F* umgekehrt, also hellleuchtend.

Secchi führte nun den Spalt am ganzen Umfange der Sonnenscheibe herum, indem er ihn abwechselnd parallel und senkrecht zum Sonnenrande stellte. Es zeigte sich dabei, dass die helle Linie *C* (roth) rund um die Sonne herum auftrat; bei senkrechter Stellung des Spalts gegen den Sonnenrand war sie überall zehn bis fünfzehn Secunden lang, mit Ausnahme derjenigen Zonen, welche den Sonnenäquator auf je fünfundvierzig Grad zu beiden Seiten umgaben; in dieser Region, in welcher bekanntlich die Sonnenflecke und Fackeln auftreten, erschien diese Linie stets viermal so lang. An vielen Stellen zeigte sich die *C*-Linie vom Sonnenrande getrennt; stellte man dann den Spalt parallel zur Tangente dieses Randes, so erschien stets eine das ganze Spectrum durchsetzende helle Linie, die sich zuweilen in einzelne Stücke theilte, wenn der Spalt vom Sonnenrande entfernt wurde, aber immer vollständig und ununterbrochen erschien, wenn der Spalt sich wieder dem Sonnenrande näherte.

Es ergiebt sich hieraus, wie es auch schon die Beobachtungen der Sonnenfinsterniss und die Untersuchungen Lockyer's gezeigt haben, dass die glühende Gasschicht, welche die Sonne umgiebt, zwar continuirlich, aber sehr ungleichmässig vertheilt ist. Die Stellen, an denen die hellen Linien im Spectrum die bedeutende Höhe

von sechzig Secunden und mehr erhalten, sind die Orte, wo sich Protuberanzen finden; die Stellen, welche Fragmente der hellen Linien erkennen lassen, bezeichnen die Orte, an denen isolirte glühende Gasmassen, Sonnenwolken, in bedeutender Höhe vorhanden sind.

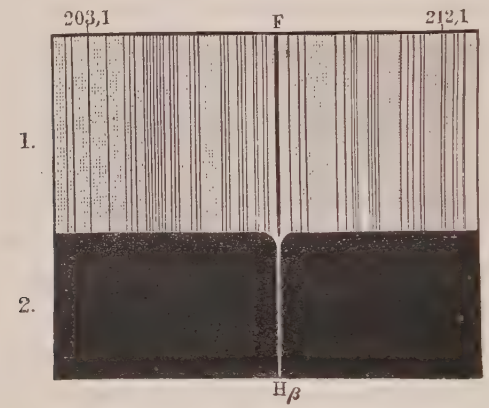
Während die rothe *C*-Linie stets glänzend erscheint und überall leicht gesehen wird, zeigt sich die grünblaue *F*-Linie zwar auch glänzend, aber doch schwächer als *C* und stets kürzer, was auch von Lockyer und Tietjen bestätigt wird (s. Spectrum Fig. 91 Nr. 6). Lockyer fand zugleich, dass sich die grüne *F*-Linie (Fig. 91 Nr. 7) im umkehrenden Fernrohre des Spectroskops zuweilen nach oben erweitert und die Form einer Pfeilspitze annimmt, woraus folgt, dass die unterste Schicht der die Sonne umgebenden Gashülle eine breitere grünblaue Linie erzeugt, als die oberen Theile derselben. Da sich jedoch diese Linie niemals in einer reinen Protuberanz erweitert, vielmehr hier stets dieselbe Breite hat, wie die Linie *C*, so schliesst Lockyer daraus, dass die Materie der Protuberanzen sich anders verhalten müsse, als die der Gashülle, aus welcher sie emporragen.

Die Fig. 95 giebt ein deutliches Bild, wie sich nach Lockyer diese Ausweitung der hellen *F*-Linie ($H\beta$) im Spectrum der Wasserstoffschicht im umkehrenden Telespectroskope darstellt. Das Bild zeigt in der oberen Hälfte 1 das rechts und links von der *F*-Linie liegende Stück des abgeschwächten Sonnenspectrums mit den Fraunhoferschen Linien; in der unteren Hälfte 2, in welcher das Spectrum der nächsten Sonnenumgebung gänzlich ausgelöscht erscheint, die über *F* liegende grünblaue Wasser-

stofflinie $H\beta$ und zwar an der Stelle, wo sie sich an das Sonnenspectrum anschliesst, breiter, als vom Sonnenrande abgekehrt, wo sie in eine Spitze ausläuft.

Die Erscheinung, dass unter gewissen Umständen die grünblaue Wasserstofflinie breiter werde, war schon von Plücker und Hittorf beobachtet worden; aber die Ursache hiervon blieb unermittelt. Lockyer und Frank-

Fig. 95.



Ausbreitung der grünblauen Wasserstofflinie $H\beta$.

land beschäftigten sich daher näher mit der Untersuchung der Spectra einiger Gase und Dämpfe unter verschiedenen Bedingungen des Druckes und der Temperatur, und sie fanden, dass die Erweiterung der grünen Wasserstofflinie $H\beta$ oder F von einer Vermehrung des Drucks herrühre und in keiner bemerkbaren Weise von der Temperatur abhänge, ja dass es möglich sei, aus der Breite dieser Linie einen Rückschluss auf den Grad des Drucks zu machen, den das Wasserstoffgas ausübe.

Secchi, Lockyer und Rayet haben ferner unabhängig von einander gefunden, dass in manchen Gegenden des Spectrums der genannten Sonnenhülle noch andere helle Linien sehr lebhaft und glänzend auftreten, darunter eine Linie im Roth zwischen *B* und *C*, aber nahe vor *C* (Fig. 91 Nr. 7), die andere bereits genannte Linie D^3 im Orange, sehr nahe bei *D*, aber über *D* hinaus nach *E* hin, eine dritte im Grün zwischen den Linien *E* und *F* (Fig. 91 Nr. 3, 5, 8) und mehrere andere in den Magnesium- und Eisenlinien des Sonnenspectrums. Dieselben Beobachter haben auch die dritte blaue Wasserstofflinie nahe vor *G* (*Hγ* in Fig. 91, Nr. 2; Farbentafel Nr. 7) umgekehrt, also glänzend gesehen und ihre Lage als Nr. 2796 der Kirchhoff'schen Scala bestimmt, während *G* die Zahl 2854 bis 2855 trägt. Ausser diesen drei charakteristischen Wasserstofflinien zeigt sich unter sehr günstigen Umständen, bei wenig feuchter und sehr durchsichtiger Luft und bei Anwesenheit einer sehr hohen Protuberanz noch eine vierte blaue Linie, welche der von Angström mit *h* bezeichneten dunkeln Linie von 0,00041011 Millimeter Wellenlänge genau entspricht. Diese Linie gehört ebenfalls dem Wasserstoff an und erscheint, wie die *F*-Linie, stellenweise kugelförmig aufgebläht; von Rayet wurde sie am 30. April, am 1. und 20. Mai 1869 sehr deutlich beobachtet.

Die rothe Linie nahe vor *C* entspricht nicht einer dunkeln Linie im Sonnenspectrum; dagegen hat Dr. Tietjen in Berlin an der Stelle der gelben Linie D^3 eine Fraunhofer'sche Linie nachgewiesen, die jedoch sehr fein ist und nur bei tiefem Stande der Sonne gesehen werden kann.

Aus allen diesen Beobachtungen lassen sich folgende Resultate mit einiger Sicherheit ableiten:

1) Der Sonnenkörper oder die Photosphäre ist von einer gasigen Hülle vollständig umgeben, in welcher der Wasserstoff einen Hauptbestandtheil ausmacht. Um diese Hülle einerseits von der absorbirenden Dampfatmosphäre und andererseits von der das Licht ausstrahlenden glühenden Photosphäre zu unterscheiden, möge diese letztere nun als fest, flüssig, gas- oder dampfförmig angesehen werden, hat Lockyer dieser Gashülle den bezeichnenden Namen Chromosphäre gegeben, weil ihr Spectrum aus mehreren farbigen Linien zusammengesetzt ist.

2) Die Protuberanzen sind locale Anhäufungen eines Gasgemenges oder auch des Wasserstoffgases, welches zuweilen in der Form von ungeheuren Eruptionen aus dem Innern des Sonnenkörpers hervorströmt und den Kern oder die Photosphäre gewaltsam durchbricht. Indem dieses Gas nach erfolgtem Durchbruch mit grosser Geschwindigkeit in die Höhe steigt, verdünnt es sich stark in der Richtung vom Sonnenrande nach oben; gegenwärtig scheint die mittlere Dicke dieser Wasserstoffschicht gegen tausend geographische Meilen zu betragen.

3) Da in dem Spectrum der Chromosphäre die der Fraunhofer'schen Linie F entsprechende Wasserstofflinie $H\beta$ im Grünblau von der Basis des Sonnenrandes an nach oben meist die Form einer Pfeilspitze annimmt, und die Erbreiterung dieser Linie von einem vermehrten Druck herrührt, so ist der Druck des Gases in der tiefsten Schicht der Chromosphäre grösser, als in der Höhe. Nach den von Lockyer und Frankland angestellten Experimenten ergiebt

sich ferner, dass selbst in der tiefsten Schicht dieser Gashülle der Druck viel geringer ist, als der Druck der Erdatmosphäre, dass das Gas also sich in einem Zustande ausserordentlicher Verdünnung befindet.

4) Zuweilen erscheint in einer Protuberanz die grünblaue Linie $H\beta$, die in der Regel fast dieselbe Breite hat, wie die Linie $H\alpha$ oder C, kugelförmig aufgebläht über der Linie der Chromosphäre (Fig. 91, Nr. 7), was möglicherweise von heftigen, zusammenstossenden Strömungen, von Stauungen oder vorübergehenden Verdichtungen des Gases herrührt.

5) Die drei charakteristischen Linien $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, so wie eine vierte blaue Linie des Wasserstoffs sind mit völliger Bestimmtheit in dem Spectrum der Chromosphäre und der Protuberanzen nachgewiesen; die beiden ersteren erstrecken sich in guten Instrumenten und unter günstigen atmosphärischen Verhältnissen zuweilen noch auf das Spectrum der unter der Chromosphäre liegenden Regionen und kehren auf der Sonnenscheibe selbst die entsprechenden Fraunhofer'schen Linien C und F in glänzende Linien um. Die gelbe Linie D^3 der Chromosphäre ist nicht die Natriumlinie, ebenso wenig ist die rothe vor C eine Wasserstofflinie; es ist noch unbekannt, welchen Stoffen sie angehören.

6) Die drei hellen Wasserstofflinien haben nicht eine gleiche Höhe; $H\gamma$ ist am niedrigsten.

Secchi glaubt aus seinen Beobachtungen, die er theils während der totalen Sonnenfinsterniss im Jahre 1860, theils in der neuesten Zeit mit seinem Telespectroskope angestellt hat, den Schluss ziehen zu müssen, dass die

Chromosphäre nicht unmittelbar auf dem Sonnenrande aufsitze, sondern von diesem durch einen Zwischenraum, eine ungemein dünne, nur zwei bis drei Secunden (à 98,04 geographische Meilen) dicke Schicht weissen Lichtes getrennt sei, welche ein continuirliches Spectrum liefere. Secchi ist der Ansicht, dass die von Kirchhoff angenommene Atmosphäre glühender Dämpfe, in welcher das weisse Sonnenlicht die elective Absorption erleidet und die dunklen Linien ihren Ursprung haben, in diese Schicht weissen Lichtes zu verlegen sei.

Lockyer widerspricht dieser Ansicht und leugnet die Existenz dieser Lichtschicht, welche die Chromosphäre von dem Sonnenrande trenne. Nach ihm bildet eine sehr niedrige Schicht gemischter glühender Dämpfe, deren umgekehrte Spectra die Fraunhofer'schen Linien bilden, die Grenze oder die Oberfläche des Sonnenkerns, auf welcher dann die Chromosphäre, die Schicht glühenden Wasserstoffgases, unmittelbar aufruht.

Die Ansicht Kirchhoff's, dass der Sonnenkörper von einer sehr ausgedehnten, nicht leuchtenden und verhältnissmässig kühlen absorbirenden Atmosphäre umgeben sei, muss nach Lockyer dahin abgeändert werden, dass die weissglühende das Licht aussendende Photosphäre von einer leuchtenden und sehr heissen Gasschicht, der Chromosphäre eingehüllt ist, die ausschliesslich oder doch hauptsächlich das Spectrum des Wasserstoffgases giebt. Die Dichtigkeit dieses Gases ist so gering, dass das Vorhandensein irgend einer andern, darüber hinausreichenden Atmosphäre, wie es wohl die Corona vermuthen lassen könnte, unwahrscheinlich erscheint. Es reducirt sich hiernach die

Umgebung der Sonne auf die Chromosphäre, oder, wenn man die dampfartige Photosphäre nicht zu dem eigentlichen Sonnenkerne rechnen will, auf die Chromosphäre plus der Photosphäre, und die Umkehrung der Spectra oder die Entstehung der dunklen Linien erfolgt nicht in einer besondern weit ausgedehnten äussern Dampfatmosphäre, sondern, wie auch Janssen annimmt, in der Photosphäre selbst oder in der Nähe des Sonnenrandes in ähnlicher Weise, wie wir die Natriumlinie in dem brennenden Natrium selbst sich haben umkehren sehen (S. 165).

Nach den Untersuchungen von de la Rue, Stewart und Loewy, so wie denen von Frankland, Lockyer und Wüllner unterliegt es keinem Zweifel mehr, dass unter den richtigen Verhältnissen des Drucks und der Temperatur ein continuirliches Spectrum mit der Annahme einer gasartigen Photosphäre wohl vereinbar ist. Nimmt man daher statt des glühenden festen oder flüssigen Sonnenkerns an, dass die Sonne sich noch in einem weissglühenden, gasartigen Zustande befinde; dass ferner in Folge der Wärmeausstrahlung und der Abkühlung die Oberfläche dieses Gasballs bis auf eine gewisse Tiefe hinab aus einer in fortwährender Condensation begriffenen Schicht glühender Dämpfe, der Photosphäre, bestehe, in welcher oder in deren unmittelbarsten Umgebung die Spectra dieser Dämpfe umgekehrt werden, und dass diese Schicht glühender Dämpfe endlich von einer Hülle glühenden Wasserstoffs, der Chromosphäre, rings umgeben sei, so erhalten wir das Bild von der physischen Beschaffenheit unserer Sonne, wie es den neuesten Ergebnissen der spectralanalytischen Untersuchungen entspricht.

Ob die Corona, jene zwei bis drei Minuten dicke Schicht eines schwachen weissen Lichtes, welche bisher nur bei totalen Sonnenfinsternissen beobachtet wurde, bloss das reflectirte Sonnenlicht ist, welches die dampfförmigen Molecüle der Chromosphäre aus ihren äussersten und höchst verdünnten Grenzschichten her zu uns senden, wie man es nach den neueren Untersuchungen Tyndall's über die ungemein grosse Reflexionsfähigkeit stark verdünnter Dämpfe vermuthen könnte, oder ob dieser Lichtring sammt dem scheinbar von ihr ausgehenden Strahlenkranze (gloire) anderen Ursachen seinen Ursprung verdankt, lässt sich gegenwärtig noch nicht entscheiden.

49. Beobachtung der Protuberanzen bei Sonnenschein.

Schon im Jahre 1866 machte Lockyer mit einem Herschel-Browning-Spectroskope, das mit einem Teleskope verbunden war, den Versuch, bei vollem Sonnenscheine die Protuberanzen in ihrem ganzen Umfange zu beobachten. Die Methode, die er anwandte und die er der Royal Society in einem besonderen Berichte näher darlegte, beruht, wie wir bereits S. 274 vorübergehend angeführt haben, auf der specifischen Verschiedenheit des Protuberanzenlichtes und des eigentlichen Sonnenlichtes.

Das Licht eines glühenden festen oder flüssigen Körpers, welches durch den Spalt eines Spectroskops geht, wird durch das Prisma in ein mehr oder weniger langes Band zu einem continuirlichen Spectrum ausgebreitet.

Das Licht der gas- und dampfförmigen Körper da-

gegen wird auf demselben Wege nur in wenige, zuweilen sogar in sehr wenige leuchtende Linien zerlegt.

Im ersten Falle wird die Intensität des Spectralbandes im Vergleiche zu der Lichtquelle um so mehr geschwächt, je grösser seine Länge ist; im zweiten Falle, namentlich wenn das Spectrum nur aus ein paar Linien besteht, ist die Intensität dieser letzteren nicht viel geringer, als die der Lichtquelle selbst.

Wenn daher zwei glühende Körper, von denen der eine fest oder flüssig, der andere gas- oder dampfförmig ist, gleichzeitig gleich viel Licht in den Spalt des Spectroskops werfen, so werden die hellen Linien des letzteren Lichtes glänzender sein, als die der Farbe oder Brechbarkeit nach entsprechenden Theile des continuirlichen Spectrums des erstern Lichtes.

Nun kann man aber durch Vermehrung der Prismen das continuirliche Spectrum immer mehr in die Länge ziehen und abschwächen und damit, wie wir schon S. 186 erwähnt haben, sogar das sonst so glänzende Spectrum des Sonnenlichtes fast bis zum Verschwinden bringen; während die gleiche Vergrösserung der Dispersion für das Linienspectrum des glühenden Gases nur eine Vergrösserung der Linienabstände, nicht aber eine erhebliche Abschwächung des Glanzes dieser Linien zur Folge hat.

Der Grund, weshalb wir die Protuberanzen nicht zu jeder Zeit bei Abblendung des intensiven Sonnenlichtes mit unsern Teleskopen am Rande der Sonne wahrnehmen, liegt in der ausserordentlichen Helligkeit der von der Sonne beleuchteten Erdatmosphäre, deren Theilchen uns eine solche Fülle von Licht zusenden, dass dadurch das Licht der weit

schwächer leuchtenden Protuberanzgebilde überwuchert wird und letztere selbst keinen wahrnehmbaren Eindruck auf das Auge machen können.

Bei einer totalen Sonnenfinsterniss wird dieses Atmosphärenlicht so bedeutend abgeschwächt, dass alsdann die intensiv leuchtenden Protuberanzen ausserhalb des Sonnenrandes deutlich sichtbar hervortreten. Zu jeder andern Zeit aber, wenn die Sonne scheint, beruht die Möglichkeit, das Tageslicht abzuschwächen, ohne zugleich auch das Protuberanzenlicht zu dämpfen, auf dem bereits erwähnten Umstande, dass jenes Licht aus Strahlen einer jeden Farbengruppe besteht und daher in einem Spectroskope von starker Dispersionskraft ein langgezogenes, also lichtschwaches Spectrum erzeugt, das Licht der Protuberanzen dagegen nur aus drei oder vier Strahlengattungen zusammengesetzt ist, und auch bei der stärksten spectralanalytischen Zerlegung stets auf ebenso viele Linien ($H\alpha$, β, γ) concentrirt bleibt.

Nach diesen, von Lockyer zuerst mitgetheilten Principien, gelang es Janssen am Tage nach der Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868 das Spectrum der Protuberanzen bei Sonnenschein zu beobachten. Dass die von ihm angewandte Methode keine andere, als die Lockyer'sche ist, giebt er in einem aus Calcutta vom 3. October 1868 datirten Schreiben an die Pariser Akademie in folgender Weise selbst an. „Die neue Methode, in ihrem Princip betrachtet, beruht auf der Verschiedenheit der Spectraleigenschaften des Protuberanzlichtes und der Photosphäre. Das Photosphärenlicht, welches von festen oder flüssigen glühenden Theilchen herrührt, ist

unvergleichlich stärker, als das der Protuberanzen, welches durch die Ausstrahlung von Gasen entsteht. Darin liegt auch der Grund, dass es bisher beinahe unmöglich gewesen, die Protuberanzen ausser bei Sonnenfinsternissen zu sehen. Aber man kann diese Lage der Dinge umkehren, wenn man sich an die Spectralanalyse wendet. In der That vertheilt sich das Sonnenlicht bei der Analyse über die ganze Ausdehnung des Spectrums und wird dadurch bedeutend abgeschwächt. Die Protuberanzen hingegen liefern nur eine geringe Anzahl von Lichtbündeln, deren Intensität mit den entsprechenden Sonnenstrahlen sich dann wohl vergleichen lässt. Daher kommt es auch, dass die Protuberanzenlinien sehr leicht in dem Spectralfelde gleichzeitig mit dem Sonnenspectrum wahrgenommen werden, während die directen Bilder der Protuberanzen wegen des blendenden Lichtes der Photosphäre nicht sichtbar werden. Ein sehr glücklicher Umstand für die neue Methode kommt noch zu dieser günstigen Lage der Sache hinzu. Er besteht darin, dass die hellen Protuberanzenlinien dunklen Linien des Sonnenspectrums entsprechen, woraus folgt, dass man sie nicht nur leichter in dem Spectralfelde über den Rändern des Sonnenspectrums erkennt, sondern dass es sogar möglich ist, sie im Innern dieses letztern Spectrums zu sehen und demnach die Spur der Protuberanzen auf dem Sonnenkörper selbst zu verfolgen."

Nachdem es Lockyer und Janssen gelungen war, auf die angegebene Weise das Spectrum der Protuberanzen unabhängig von einer totalen Sonnenfinsterniss zu beobachten, lag die Frage nahe, ob es nicht möglich sein

werde, nicht nur die Protuberanzlinien, sondern auch die ganze Gestalt der Protuberanzen selbst bei Sonnenschein wahrnehmbar zu machen.

Die Länge der hellen Linien einer Protuberanz, z. B. *Hβ*, entspricht der Höhe der in die Richtung des Spaltes fallenden Dimension dieser Protuberanz selbst, und wir haben bereits gesehen (S. 273), wie es Lockyer gelang, durch successives Fortbewegen des Spalts über die Fläche einer Protuberanz und durch Aufzeichnen der dabei nacheinander auftretenden verschieden hohen Linie *Hβ* die Umrisse der Protuberanz selbst zu construiren.

Janssen machte dagegen den Vorschlag, mittelst einer schnellen Rotation des (geradlinigen) Spectroskops um seine Achse, den Spalt successive über die ganze Protuberanzfläche hinweg zu bewegen, um so bei hinreichend grosser Geschwindigkeit der Drehung mittelst der Dauer des Lichteindruckes auf das Auge die Gestalt der ganzen Protuberanz mit einem Male überblicken zu können. Denselben Weg haben auch Lockyer und Zöllner eingeschlagen; ersterer, indem er statt des Spectroskops bloss den Spalt senkrecht zu seiner Richtung in eine sehr schnelle Rotation versetzte, letzterer, indem er den Spalt mittelst einer elastischen Feder senkrecht zu seiner Richtung hin und her oscilliren liess. Aber diese Versuche, obgleich sie die Möglichkeit des Gelingens in Aussicht stellten, sind über ihre ersten Anfänge nicht hinausgekommen, einestheils wegen der damit verbundenen mechanischen Schwierigkeiten, anderntheils weil es sich bald ergab, dass sich der beabsichtigte Zweck durch viel einfachere Manipulationen weit besser erreichen liess.

Huggins arbeitete schon seit zwei Jahren nach einer anderen Richtung hin. Da die Protuberanzen in blass rosen- oder korallenrother Färbung erscheinen, so müsse es, meinte er, möglich sein, dieselben auch bei Sonnenschein in ihrer ganzen Ausdehnung wahrzunehmen, wenn es gelänge, durch farbige Gläser die intensiv gelben, die grünen und blauen Farben aus dem weissen Sonnenlichte auszulöschen. Geschehe dieses, so dürfe man erwarten, dass das rothe Licht der Protuberanzen fast ungeschwächt durch jene Gläser hindurchgehen und von dem Reste des Lichtes der Atmosphäre nicht ferner mehr überstrahlt werden werde.

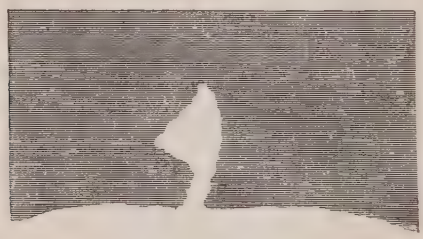
Nachdem Huggins mit vieler Mühe durch spectralanalytische Untersuchung eine Reihe farbiger Gläser und Flüssigkeiten für seinen Zweck als geeignet ermittelt hatte, untersuchte er mit ihnen durch Vorhalten vor das Auge direct die Sonne, oder er projicirte in einem dunkeln Zimmer das Bild des Sonnenrandes auf einen Schirm, nachdem das weisse Licht vorher vermittelst des Systems der farbigen Medien so zu sagen durchgesiebt worden war.

Huggins kam indessen auf diese Weise nicht zum Ziele und er nahm im vergangenen Winter seine Untersuchungen unter Beihülfe eines Rubinglases, welches nur die äussersten rothen Farben des Sonnenspectrums durchliess, wieder auf. Am 13. Februar 1869 gelang es ihm damit zuerst, bei hellem Sonnenschein eine Protuberanz so deutlich zu sehen, dass er ihre Form bestimmen und zeichnen konnte.

Er bediente sich dazu eines Spectroskops, in welchem zwischen den Prismen und dem Objectiv des kleinen Fern-

rohrs und zwar dicht vor dem letzteren ein enger Spalt angebracht war. Dieser Spalt beschränkte das auf das Fernrohr fallende Spectrum bloss auf diejenigen Lichtstrahlen, deren Brechbarkeit den Strahlen unmittelbar bei der Linie *C* entspricht. Da die helle *C*-Linie ($H\alpha$) stets im Spectrum der Protuberanzen vorkommt, so war Huggins sicher, wenn er diese Linie überhaupt in seinem Instrumente wahrnahm, dass sich in dem Sehfelde des Spalts eine Protuberanz befinden musste. Als er dann den Spalt des Spectroskops erweiterte, um die ganze Gestalt der

Fig. 96.



Huggins' erste Beobachtung einer Protuberanz bei vollem Sonnenscheine.

Protuberanz zu übersehen, wurde das Spectrum so unklar, dass man es nicht mehr deutlich erkennen konnte. Wurde nun das tief roth gefärbte Rubinglas angewandt, um mittelst desselben alle Strahlen, deren Brechbarkeit sich von der der *C*-Linie unterschied, zu absorbiren, so erschien die Protuberanz in ihrer ganzen Gestalt mit voller Deutlichkeit. Die von Huggins auf diese Weise zuerst wahrgenommene Protuberanz hatte nahe die Form der Fig. 96.

Gleichzeitig mit Huggins und unabhängig von einander arbeiteten Zöllner und Lockyer nach demselben Ziele hin. Zöllner, rühmlichst bekannt durch seine

„Photometrischen Untersuchungen“ und wohl vertraut mit der Einrichtung optischer Instrumente jeder Art, hat in einer Abhandlung „Ueber ein neues Spectroskop etc.“* seine Ideen über die verschiedenen Methoden, die Protuberanzgebilde bei Sonnenschein zu beobachten, entwickelt und die von ihm angestellten Versuche näher beschrieben. Er gelangte zu dem Resultate, dass die Methode von Lockyer, das Licht der Erdatmosphäre durch hinlängliche Vermehrung der Prismen abzuschwächen, vor den Methoden von Janssen und Huggins den entschiedensten Vorzug verdiene, musste jedoch wegen noch nicht vollendeter Aufstellung der erforderlichen Instrumente auf eine eigene Prüfung dieser Methode an der Sonne verzichten. Das Verfahren, welches Zöllner als das geeignetste erkannte, besteht in einer Combination des Princips von Lockyer und der letzteren Methode von Huggins, zuerst eine Spectrallinie des Protuberanzenlichtes aufzusuchen und dann den Spalt so weit zu öffnen, dass die Protuberanz in ihrer ganzen Grösse oder wenigstens ein Theil derselben durch diese Oeffnung übersehen werden kann.

Als Lockyer am 27. Februar 1869 erfuhr, dass es Huggins gelungen sei, durch blosse Oeffnung des Spalts und unter Anwendung von absorbirenden Medien die Protuberanzen bei vollem Sonnenscheine wahrzunehmen, kam er sogleich auf die Idee, welche von Zöllner bereits unter dem 6. Februar veröffentlicht, aber noch nicht an der Sonne zur Ausführung gebracht worden war, dass die

* Berichte der K. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig vom 6. Februar 1869.

Abschwächung des Atmosphärenlichtes sich weit vollständiger durch eine Vermehrung der Prismen, als durch absorbirende Gläser erreichen lasse, und dass es daher gelingen müsse, die Protuberanzen in ihrer ganzen Gestalt zu beobachten, wenn man zuerst eine ihrer Spectrallinien, z. B. die grünblaue $H\beta$, in das Sehfeld eines sehr stark zerstreuenden Spectroskopes bringe, und dann den Spalt desselben so weit öffne, dass man durch ihn hindurch die Protuberanz in ihrer ganzen Ausdehnung überschauen könne. Das ausgezeichnete, sieben Prismen enthaltende Telespectroskop (Fig. 94), welches ihm zur Verfügung stand, bestätigte nach wenigen Versuchen die Richtigkeit dieser Idee, und so gelang es ihm zuerst, ohne weitere mechanische Hülfsmittel und ohne Anwendung von farbigen Gläsern zu jeder Tageszeit, wo die Sonne scheint, die Protuberanzen in allen ihren Umrissen und in ihrer ganzen Grösse und Gestalt zu beobachten.

Zöllner hat nach demselben Verfahren zuerst am 1. Juli die Protuberanzen wahrgenommen. Die Resultate seiner Beobachtungen hat er in einer Reihe von höchst interessanten Abbildungen einzelner grösserer Protuberanzen veröffentlicht, welche das Entstehen, die Veränderungen und das Verschwinden derselben deutlich erkennen lassen.

Es ist im Allgemeinen einerlei, ob man bei dieser Beobachtungsweise die rothe Linie ($H\alpha$) oder die grünblaue ($H\beta$) fixirt; die Weite der Spaltöffnung ist jedoch durch die grössere oder geringere Reinheit des Himmels wesentlich bedingt.

Es wird nicht überflüssig sein zu bemerken, dass auch die kleinste Spaltöffnung des Spectroskops doch das Seh-

feld desselben über einen sehr bedeutenden Theil der Sonnenumgebung ausdehnt. Beträgt diese Oeffnung auch nur $^1/_{500}$ Zoll, und hat das durch das Objectiv des Teleskops erzeugte Sonnenbildchen, wie in dem Instrumente von Lockyer, einen Durchmesser von etwa 0,94 Zoll, so erstrecken sich doch die durch den Spalt eindringenden Lichtstrahlen an der Sonne über einen Raum von ungefähr vierhundert geographischen Meilen.

Wenn in Folge der starken Lichtdispersion die Spectra der Sonne und der Erdatmosphäre verschwunden sind, das Bild des weit geöffneten Spalts und der im Sehfelde befindliche Protuberanztheil allein übrig bleibt, und dann das Teleskop oder der Spalt langsam fortbewegt wird, ziehen die sonderbarsten Schattengestalten an dem Auge vorbei und können ebenso deutlich beobachtet werden, wie während der Dauer einer totalen Sonnenfinsterniss. „Einige dieser luftigen Gebilde," sagt Lockyer, „erinnern durch ihr wolliges, unendlich feines, wolkiges Geäste an die englischen Baumhecken mit üppig wuchernden Rüstern; andere gleichen einem dicht durchwachsenen Tropenwalde, der seine eng verschlungenen Zweige nach allen Richtungen hin ausstreckt. Je höher hinauf man eine Protuberanz verfolgt, um so weiter breitet sie sich aus; meist sitzt sie nur mit einem schmalen Stiele auf der Chromosphäre auf; höher hinauf verästeln und verwickeln sich ihre Stämme immer mehr, bis sie endlich in der höchsten Höhe in feine Fäden auslaufen und als flüchtige Massen unmerklich sich verlieren."

Kleinere Veränderungen in der Gestalt der Protuberanzen kann man bei geöffnetem Spalte fast ununterbrochen

beobachten; dagegen erfolgen grössere Veränderungen in der Regel nur langsam oder ganz unmerklich. In einigen Fällen aber ist der Wechsel der Gestalt in den Protuberanzen so ausserordentlich und geht mit einer solchen Geschwindigkeit vor sich, dass wir daraus auf die heftig-

Fig. 97.

Ein Sonnensturm, beobachtet von Lockyer am 14. März 1869. (Bild I.)

sten Reactionen in den höheren Theilen der Sonnenatmosphäre schliessen müssen, gegen welche die orcanartigen Stürme, welche zuweilen das Luftmeer der Erde in Bewegung setzen, verschwindend klein sind. Lockyer beschreibt die Beobachtung eines solchen Sonnensturms auf folgende Weise:

„Am 14. März d. J. gegen 9 Uhr 45 Minuten Morgens beobachtete ich, den Spalt tangential zum Sonnenrande anstatt, wie es sonst zu geschehen pflegt, senkrecht zu demselben, in der Nähe des Aequators auf der östlichen Seite eine kleine dichte Protuberanz mit Andeutungen, dass

Fig. 98.

Ein Sonnensturm, beobachtet von Lockyer am 14. März 1869. (Bild II.)

eine aussergewöhnliche Thätigkeit im Gange war. Um 10 Uhr 50 Minuten, als die Wirkung nachliess, öffnete ich den Spalt und bemerkte sofort, dass das dichte Aussehen der Protuberanz verschwunden und wolkenähnliche Zerfaserungen eingetreten waren. Die erste Zeichnung, Fig. 97, welche eine unregelmässige Protuberanz mit einer andern

vollkommen geradlinig gestalteten umfasste, wurde um 11 Uhr 5 Minuten beendigt; die Höhe der Protuberanz betrug 1 Minute 5 Secunden oder ungefähr 6300 geographische Meilen. Ich verliess dann auf einige Minuten das Observatorium, und war nicht wenig erstaunt, bei meiner Rückkehr um 11 Uhr 15 Minuten zu bemerken, dass von der geradlinigen Protuberanz nichts mehr sichtbar war, auch nicht die kleinste Spur fand sich davon an der alten Stelle vor. Ich weiss nicht, ob sie sich wirklich gänzlich verloren hatte, oder ob ihre Theile anderswohin geflossen waren; aber ich vermuthe das Letztere, weil der übrige Theil der Protuberanz sich vergrössert hatte, wie es die nun angefertigte zweite Zeichnung, Fig. 98, deutlich erkennen liess."

50. Messung der Richtung und der Geschwindigkeit der Gasströme auf der Sonne.

Zu den schönsten Errungenschaften der Spectralanalyse, welche vielleicht alle bisher gewonnenen Resultate, so glänzend sie immer sein mögen, überstrahlt, gehört die Entdeckung, dass man mit vorzüglichen Instrumenten und genau ausgeführten Messungen aus der Lage oder vielmehr einer sehr kleinen Verschiebung der Spectrallinien eines Sterns oder einer andern Lichtquelle, z. B. einer Protuberanz, bestimmen kann, ob und mit welcher Geschwindigkeit sich diese Lichtquelle uns nähert oder von uns entfernt.

Der Grundgedanke, auf welchem Untersuchungen dieser Art beruhen, ging schon im Jahre 1842 von Doppler

aus, der den periodischen Farbenwechsel der veränderlichen Sterne dadurch zu erklären suchte, dass er annahm, die Geschwindigkeit der Sterne sei nicht verschwindend klein gegen die des Lichtes, und es müsse daher bei Annäherung eines Sterns an uns die Zahl der Aetherwellen, die in einer Secunde unser Auge treffen, eine grössere, bei der Entfernung von uns eine kleinere sein, als wenn der Stern still stände. Da nun das violette Licht die meisten, das rothe Licht die wenigsten Schwingungen in einer Secunde mache, so müsse im Falle der Annäherung das Licht des Sterns sich mehr dem Violett, im Falle der Entfernung mehr dem Roth hinneigen.

Die Höhe eines Tones hängt bekanntlich von der Anzahl der Luftstösse ab, welche das Ohr in einer bestimmten Zeit empfängt (S. 60). Da nun ein Ton um so höher wird, je mehr Schwingungen der Luft in einer Secunde das Trommelfell des Ohres treffen, so muss durch eine rasche Annäherung irgend einer Tonquelle nach dem Ohre hin der Ton höher, durch eine rasche Entfernung aber tiefer werden. Die Richtigkeit dieser Ansicht wurde für die Töne mit Hornsignalen, die auf einer schnell fahrenden Locomotive erzeugt wurden, vollkommen bestätigt. Bei der raschen Annäherung der Locomotive an den stillstehenden Beobachter wird der Ton eines und desselben Horns stets höher, bei der Entfernung tiefer.

Wie durch die Anzahl der Luftschwingungen die verschiedenen Tonhöhen, so sind durch die Anzahl der Aetherschwingungen die verschiedenen Farben bedingt (S. 67). Wenn sich daher eine Lichtquelle, z. B. das Licht des glühenden Wasserstoffs einer Protuberanz, sehr schnell

von uns entfernt, so werden weniger Aetherwellen in der Secunde unsern Sehnerv treffen, als wenn das glühende Gass still steht. Ist die Differenz in der Anzahl der Aetherwellen hinlänglich gross, um von unserem Auge wahrgenommen zu werden, so muss jede Farbe des glühenden Gases in der Scala des Spectrums sinken, d. h. sich mehr nach dem Roth neigen. Bei der prismatischen Zerlegung des Lichtes können dann die einzelnen farbigen Lichtstrahlen nicht an denselben Stellen im Spectrum erscheinen, an welchen sie bei dem stillstehenden Lichte auftreten würden, und zwar müssen sie sich sämmtlich etwas nach dem Roth hin verschieben.

Das Umgekehrte tritt ein, wenn dasselbe Licht schnell auf uns zukommt; es vermehrt sich dann die Anzahl der Aethererschütterungen für das Auge gegenüber dem Falle, wo das Licht stille steht; bei der prismatischen Analyse verändern dann die farbigen Strahlen in der Farbenscala des Spectrums ebenfalls ihre Lage, erscheinen an denjenigen Stellen, welche ihnen durch ihre erhöhte Brechbarkeit angewiesen werden, und erleiden eine Verschiebung nach dem Violett hin.

Wenn man bedenkt, dass die Zahl der Aetherwellen für die rothen Strahlen mindestens 480 Billion, für die violetten sogar 800 Billion in einer Secunde, oder auch, dass die Wellenlänge desjenigen grünblauen Lichtes, welches sich im Sonnenspectrum an der mit *F* bezeichneten Stelle befindet, nur 485 Milliontel (genauer 0,00048505) eines Millimeter beträgt, und die zu dem vorliegenden Zwecke anzuwendenden Messwerkzeuge Grössen dieser letzteren Art anzeigen müssen, so wird man die ungewöhnlich grossen

Schwierigkeiten nicht unterschätzen, welche mit den Beobachtungen dieser Farbenverschiebungen im Spectrum verbunden sind. Dieselben würden sich auch kaum ausführen lassen, wenn wir nicht in den dunkeln Linien, welche die Spectra der Sonne und der Fixsterne durchziehen und unter denen sich meist die eine oder die andere genau fixiren lässt, feste Spectralstellen hätten, deren Brechbarkeit oder Wellenlänge wir für das Sonnenlicht oder für irdische Stoffe, also auch für den Stern oder eine andere Lichtquelle, wenn sie unbeweglich gedacht wird, im Voraus bestimmen könnten.

Wir werden später sehen, in welcher Weise Secchi und Huggins dieses Princip dazu angewandt haben, um die Geschwindigkeit zu bestimmen, mit welcher sich ein Fixstern uns nähert oder von uns entfernt.

Lockyer hat darauf eine Methode gegründet, um die Geschwindigkeit zu messen, mit welcher das die Protuberanzen bildende glühende Wasserstoffgas aus dem Sonnenkörper hervorbricht oder nach erfolgtem Emporschiessen wieder herabsinkt. Die Grundlage dieser Methode besteht aus folgender Reihe von Schlüssen.

Die Brechbarkeit des grünblauen Lichtes ($H\beta$), welches das glühende Wasserstoffgas neben dem rothen ($H\alpha$) und dem blauen ($H\gamma$) aussendet (Farbentafel Nr. 7), wird durch die Lage der Linie F im Sonnenspectrum bemessen. Wenn in dieser Linie F irgend eine Verschiebung, d. h. eine Veränderung der Brechbarkeit oder der Wellenlänge des grünblauen Lichtes, beobachtet wird, ohne dass zugleich auch die benachbarten dunkeln Linien eine Verschiebung erleiden, so ist klar, dass die Ur-

sache dieser Verschiebung nicht in der Bewegung der Erde oder der Sonne liegen kann, vielmehr dieselbe ausschliesslich der Bewegung des leuchtenden Wasserstoffgases zugeschrieben werden muss.

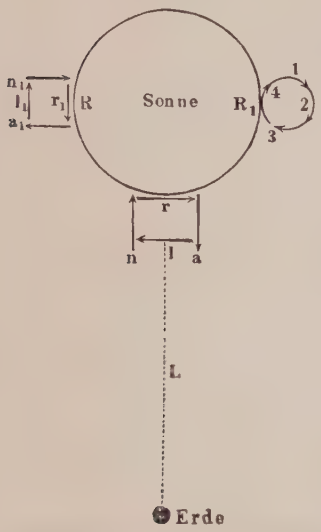
Wenn das Wasserstoffgas auf der Sonne sich uns rasch annähert, so muss die secundliche Zahl seiner Aetherwellen zunehmen; die Länge einer jeden Welle wird kürzer und das Licht neigt sich mehr nach dem Violett hin, weil diese Farbe die kürzesten Wellenlängen hat. Die *F*-Linie erleidet dann eine Verschiebung aus ihrer gewöhnlichen Lage im Sonnenspectrum nach dem violetten Ende des Spectrums hin. Beträgt die Verkürzung der Aetherwellen des grünblauen Lichtes ($H\beta$) des Wasserstoffs nur $^1/_{10000000}$ eines Millimeters, so kann man die dadurch erzeugte Verschiebung der *F*-Linie wahrnehmen und damit die Bewegung des Wasserstoffgases auf der Sonne zu uns hin constatiren.

Wenn sich dagegen dieses Gas auf der Sonne in der entgegengesetzten Richtung bewegt und sich von uns entfernt, so wird die secundliche Anzahl der Aetherwellen kleiner, die Wellenlänge wird grösser, die grünblauen Lichtstrahlen nähern sich mehr dem Roth und es findet eine Verschiebung der *F*-Linie nach dem rothen Ende des Spectrums statt.

Rücksichtlich der Annäherung und Entfernung des Wasserstoffgases aber in Bezug auf unser Auge sind zwei verschiedene Umstände in Betracht zu ziehen. Wenn in Fig. 99 die Pfeilrichtung *a* einen von der Sonne aus aufsteigenden, der Erde sich annähernden, dagegen *n* einen niedersinkenden, von der Erde sich entfernenden leuch-

tenden Gasstrom bezeichnet, so wird sowohl der Gasstrom a als auch n eine Verschiebung der F-Linie und zwar a nach dem Violett, n nach dem Roth hin verursachen, wenn seine Geschwindigkeit hinlänglich gross ist, um die Wellenlänge um wenigstens $^1/_{10000000}$ Millimeter zu verändern. Seitliche oder tangentiale Gasströme aber, wie sie durch die Pfeile r und l bezeichnet sind, haben hier keinen Einfluss auf die Veränderlichkeit der F-Linie; sie näheren sich weder dem Auge, noch entfernen sie sich von demselben, ihre Richtung steht vielmehr senkrecht zu der Sehlinie L. Richten wir daher das Telespectroskop in der Richtung L nach dem Mittelpunkte der Sonne, so werden wir an einer eventuellen Verschiebung der F-Linie bloss die aufsteigenden und die niedersinkenden Gasströme a und n wahrnehmen und ihre Geschwindigkeit messen können, nicht aber etwaige seitliche Strömungen r, l, welche sich tangential zur Sonnenoberfläche bewegen.

Fig. 99.



Die Richtung und die Geschwindigkeit der Gasströme auf der Sonne.

Richten wir aber unsern Blick auf den Sonnenrand R, so sind es hier umgekehrt die auf- und absteigenden Gasströme a_1 und n_1, welche sich dem Auge weder nähern, noch sich davon entfernen, und daher, weil sie zu einer etwaigen Verschiebung der F-Linie nichts beitragen, nicht

wahrgenommen werden können. Wenn dagegen seitliche oder tangentielle Strömungen r_1, l_1 mit der erforderlichen Geschwindigkeit an dieser Stelle vorkommen, so werden die mit r_1 bezeichneten Ströme sich dem Auge nähern und eine Verschiebung der F-Linie nach dem Violett hin verursachen, die mit l_1 bezeichneten aber sich von der Erde entfernen und eine Verschiebung derselben Linie F nach dem Roth hin zur Folge haben.

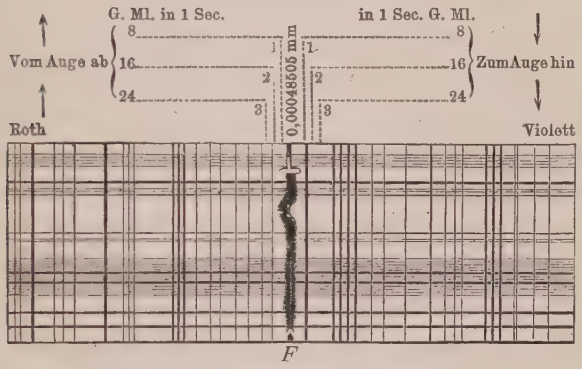
Es ergiebt sich hieraus, dass der Sonnenmittelpunkt der Beobachtungsort ist für das Studium der auf- und absteigenden Wasserstoffergüsse, der Sonnenrand (R oder R_1) dagegen für die seitlichen Strömungen, die Drehstürme oder Cyclone, wie Lockyer sie nennt.

Wenn sich ergeben sollte, dass die Wasserstofflinien eine gleichzeitige Verschiebung nach beiden Seiten hin oder eine gleichmässige Erbreiterung erführen, so müsste man den Gedanken an eine Bewegung der Lichtquelle offenbar mit grosser Vorsicht aufnehmen; man würde dann die Ursache einer solchen Erbreiterung, sei es bei den hellen, oder den dunkeln Linien, viel eher in der Zunahme des Drucks des leuchtenden Gases zu suchen haben. Wenn aber die Erbreiterung der Linien bald nur auf der einen, bald nur auf der andern, bald auch auf beiden Seiten erfolgt, so kann dieses nach den Untersuchungen von Lockyer und Frankland nicht von einer Veränderung des Drucks herrühren, da eine Zunahme des Drucks die F-Linie des Wasserstoffgases stets gleichmässig oder doch nahezu gleichmässig nach bei Seiten hin erbreitert.

Die Fig. 100, eine Zeichnung von Lockyer, zeigt deutlich, welche auffallende Veränderungen die dunkle

Linie F im Spectroskop erleidet, wenn der Spalt auf einen Sonnenfleck am Mittelpunkte der Sonne gerichtet wird. Das dunkle Band, welches das Spectrum der Länge nach durchzieht, rührt von der allgemeinen durch die Materie des Flecks verursachten Absorption und Schwächung des Lichtes her. Die Linie F, welche in der Regel von scharfen Rändern begrenzt ist, erscheint mitunter nicht bloss hell, sondern auch als dunkle Linie stellenweise zusammengedreht

Fig. 100.



Verschiebung der F-Linie; Geschwindigkeit der Gasströme auf der Sonne.

und dann meistens nach dem Roth hin verschoben. Wenn dieses der Fall ist, zeigt sich häufig noch eine helle Linie auf der violetten Seite. Auf den kleinen Sonnenflecken bricht diese Linie mitunter plötzlich ab, oder zeigt sich unmittelbar vor ihrem Ende kugelförmig aufgebläht; über den hellen Fackelstellen des Flecks (Brücken) fehlt sie nicht selten gänzlich oder sie erscheint in eine helle Linie umgewandelt (vergl. Fig. 75).

Dieselben Erscheinungen zeigen sich auch an der

rothen *C*-Linie (*IIα*); da jedoch bei gleicher Druckzunahme die grünblaue *F*-Linie (*IIβ*) in Bezug auf die Ausbreitung viel empfindlicher ist, als die rothe, und die genannten Veränderungen an ihr am stärksten hervortreten, so eignet sich die letztere zu den Beobachtungen dieser Art am besten.

Alle diese Erbreiterungen, Verdrehungen und Verschiebungen der *F*-Linie rühren nur von einer Aenderung der Wellenlänge des grünblauen Lichtes her, welches das in Bewegung befindliche glühende Wasserstoffgas der Sonne aussendet. Die Mitte dieser Linie, wenn sie scharf begrenzt erscheint, entspricht einer Wellenlänge von 485 Milliontel Millimeter; mittelst Angström's Tafel des Sonnenspectrums (S. 186) aber ist es möglich, noch die Verschiebung dieser Linie zu messen, wenn sich die Wellenlänge nur um $^1/_{10\,000\,000}$ Millimeter ändert, und wir können umgekehrt auch aus der gemessenen Verschiebung der *F*-Linie die entsprechende Grösse, um welche sich die Wellenlänge des grünblauen Wasserstofflichtes verlängert oder verkürzt hat, in 10 Milliontel Millimeter sofort ablesen. Erscheint die Linie *F* im Spectrum von ihrer normalen Mitte nach dem Violett hin verschoben, Fig. 100, an der mit 1 bezeichneten Stelle, so verkürzen sich die Wellenlängen des grünblauen Wasserstofflichtes um $^1/_{10\,000\,000}$ Millimeter, das Licht bewegt sich also auf unser Auge zu und es findet auf der Sonne an der beobachteten, dem Mittelpunkt zugewandten Stelle (Fig. 99, *a*) ein aufsteigender Gasausbruch statt. Die Rechnung ergiebt leicht, dass bei einer solchen Verschiebung der *F*-Linie von ihrer normalen Mitte aus bis 1 das glühende Gas eine Geschwindigkeit von acht geographischen Meilen in der Secunde hat.

Erleidet die *F*-Linie eine gleiche Verschiebung nach links oder nach dem Roth hin, so verlängern sich die Wellenlängen des grünblauen Wasserstofflichtes; das Gas bewegt sich dann mit einer gleichen Geschwindigkeit von acht geographischen Meilen von unserm Auge weg und der Gasstrom sinkt zur Sonnenoberfläche nieder, wie es in Fig. 99 durch den Pfeil *n* angedeutet ist.

Eine Verschiebung der *F*-Linie von ihrer normalen Mitte aus bis zu den in Fig. 100 mit 2 und 3 bezeichneten Stellen nach dem Violett oder dem Roth hin würde zu dem Schlusse berechtigen, dass das Wasserstoffgas mit einer Geschwindigkeit von 16 resp. 24 geographischen Meilen von der Sonne aufsteige oder zu ihr herabsinke. Aus den wirklich beobachteten Veränderungen der Wellenlänge des grünblauen Wasserstofflichtes oder den gemessenen Verschiebungen der *F*-Linie, sei sie hell oder dunkel, ergiebt sich, dass eine Geschwindigkeit der Gasströme von vier bis fünf Meilen sehr gewöhnlich ist.

Die Beobachtung der seitlichen Bewegungen werden an den hellen Linien der Chromosphäre am Rande *R* oder R_1 der Sonne angestellt. Die Geschwindigkeiten des Wasserstoffgases sind hier weit grösser, mögen sie, wie in r_1 bei *R* oder in 2 bei R_1 (Fig. 99) auf uns zu gerichtet sein, oder wie in n_1 bei *R* und in 4 bei R_1 eine von uns abgekehrte Richtung haben. Die an diesen Stellen sich kundgebenden Veränderungen der Wellenlängen des grünblauen Wasserstofflichtes rühren nicht von auf- und absteigenden Gasströmungen a_1, n_1, oder 1, 3, sondern von den seitlichen Bewegungen r_1, l_1 oder 2, 4 derselben her, und sind offenbar Anzeichen, dass der glühende Wasser-

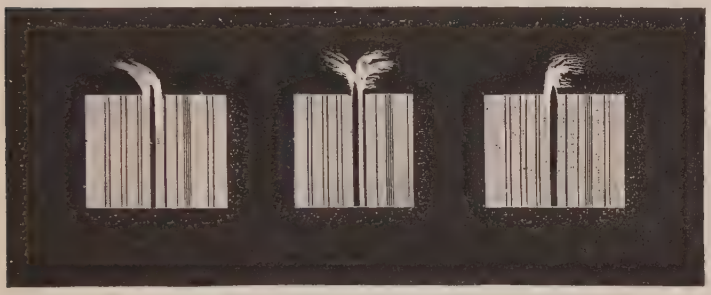
stoff sich in einer drehenden oder cyclonischen Bewegung befinde.

Es muss auch hier wieder bemerkt werden, dass selbst bei der engsten Stellung des Spalts, bei welcher die Oeffnung nicht mehr als $^1/_{500}$ Zoll beträgt, doch ein bedeutender Theil der Sonnenumgebung durch diese Oeffnung beobachtet werden kann. In dem Teleskope von Lockyer erstreckt sich bei dieser engsten Spaltöffnung das Sehfeld an der Sonne über eine Strecke von ungefähr 400 geographischen Meilen.

Wenn daher ein Wirbel glühenden Wasserstoffgases von etwa 300 bis 350 geographischen Meilen Ausdehnung sich mit einer sehr grossen Geschwindigkeit in der Nähe des Sonnenrandes dreht, so kann derselbe auch durch die feinste Spaltöffnung des Telespectroskopes in seinem ganzen Umfange beobachtet werden; letzteres trennt dabei zugleich die Aetherwellen, welche auf uns zu gerichtet sind, von denjenigen, welche eine von uns abgekehrte Bewegung haben, und giebt beides durch eine entsprechende Verschiebung der *F*-Linie zu erkennen. Lockyer beobachtete solche Gascyclone (Fig. 99, 1 2 3 4). Wenn der Spalt auf die Mitte derselben gerichtet wurde, ergab sich eine gleichmässige Erbreiterung der *F*-Linie nach dem Roth und dem Violett hin; dem entsprechend betrug die Geschwindigkeit der Gasströmung etwa $8^1/_2$ geographische Meilen in der Secunde. Wenn dann der Spalt bald nach dem einen, bald nach dem andern Ende (Fig. 99, 2, 4) des Gaswirbels hinbewegt wurde, erhielt man offenbar nach einander bald die auf uns zukommenden, bald die von uns sich entfernenden Wellen; und in der That ergab sich in jedem

Falle eine Verschiebung der *F*-Linie bloss nach einer Seite hin. Wo die Verschiebung nach dem Roth hin gerichtet war, fand eine Verlängerung der Aetherwellen, also eine von der Erde sich entfernende Gasströmung (Fig. 99, 4) statt; die Verschiebung oder Erbreiterung der *F*-Linie bloss nach dem Violett hin zeigte dagegen eine Verkürzung der Aetherwellen und eine Annäherung der Gasströmung (2) zur Erde hin an.

Fig. 101.



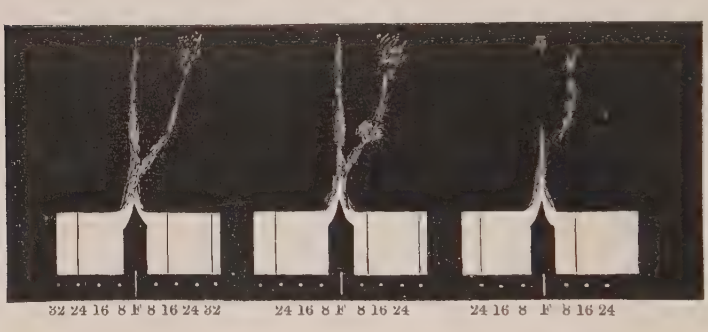
Wirbelförmige Gasbewegung auf der Sonne.

Fig. 101 zeigt einen solchen, von Lockyer am 14. März 1869 am Sonnenrande beobachteten Drehsturm (Cyclone). Bei der ersten Stellung des Spectroskopspalts erschien das Bild der hellen *F*-Linie ($H\beta$) in der Chromosphäre, wie in 1; eine geringe Verschiebung des Spalts gab der Reihe nach die Bilder 2 und 3. Es fand also eine gleichzeitige Verschiebung der hellen *F*-Linie nach dem Roth und dem Violett hin statt, ein Zeichen, dass sich an der beobachteten Stelle der Sonne ein Theil des Wasserstoffgases in der Richtung zur Erde hin, ein anderer

Theil in der entgegengesetzten Richtung von der Erde weg zur Sonne bewegte und so die Gesammtheit des in Bewegung befindlichen Gases einen Wirbel bildete.

Die Fig. 102 zeigt drei verschiedene Bilder derselben grünblauen *F*-Linie einer Protuberanz, welche Lockyer am 12. Mai 1869 gleichzeitig mit der dunkeln *F*-Linie im abgeschwächten Spectrum der Sonne in der Nähe ihres Mittelpunktes beobachtete. In allen drei Fällen bezeich-

Fig. 102.



Ungleiche Verschiebung der grünblauen Wasserstofflinie ($H\beta$).

nete die zugespitzte helle Linie, welche mit der dunkeln *F*-Linie der Richtung nach coincidirte, denjenigen Theil der Protuberanz oder der Chromosphäre, welcher in Ruhe war; diese Linien zeigten unzweideutig, dass das grünblaue Licht des glühenden Wasserstoffs keine Aenderung der Wellenlänge erfahren hatte, daher das Gas selbst sich weder zur Erde hin, noch sich von der Erde weg bewegte. Die von diesen normalen Linien nach rechts oder nach dem Violett hin sich abzweigenden hellen Linien bezeichneten solche Theile der Protuberanz, welche sich mit sehr ver-

schiedener Geschwindigkeit zur Erde hin bewegen mussten. Die grünblaue Linie des Wasserstoffgases nämlich erlitt offenbar im Spectroskope eine sehr ungleiche Verschiebung; die unteren Theile, welche der dunkeln *F*-Linie zunächst lagen, erfuhren eine geringere Verschiebung und daher eine kleinere Aenderung (Verkürzung) der Wellenlänge, als die entfernter oder höher hinauf liegenden Theile: ein Zeichen, dass das glühende Wasserstoffgas sich von der Sonne aus dem Auge des Beobachters näherte und zwar mit einer Geschwindigkeit, welche in den höheren und minder dichten Regionen der Sonnenumgebung grösser war, als in den niedriger gelegenen.

Aus den der Angström'schen Spectraltafel entnommenen und durch Punkte markirten Abständen von der normalen dunkeln *F*-Linie kann man die einzelnen Verschiebungen, welche die grünblaue Linie des Wasserstoffgases in Folge der Bewegung erleidet, leicht erkennen und daraus die Geschwindigkeit der Bewegung bemessen. Lockyer fand, dass die äusserste Verschiebung der hellen *F*-Linie aus einer Verkürzung der Wellenlänge herrührte, welche eine Geschwindigkeit des Gasstromes von mindestens 32 geographischen Meilen in einer Secunde in der Richtung von der Sonne zur Erde hin anzeigte.

Es bedarf kaum noch der Erwähnung, dass bei feiner Spaltstellung keines der drei letzteren Bilder in seiner Gesammtheit im Spectroskope übersehen wurde, sondern stets nur eine feine grünblaue Linie bald an dieser, bald an jener Stelle erschien. Wenn aber der Spalt des Instrumentes nach dem Violett hin bewegt wurde, erschienen diese Linien der Reihe nach an ver-

schiedenen Stellen, und aus der Vereinigung aller dieser einzelnen nebeneinander gezeichneten Linien sind dann jene Bilder entstanden, welche uns gestatten, die Richtung und die Geschwindigkeit der heftigen Gaseruptionen, die auf der Sonne vorkommen, mit einem Blicke zu überschauen.

51. Die Spectralanalyse der Himmelskörper. Sternspectroskope.

Schon Fraunhofer und nach ihm Brewster, Stokes, Gladstone u. A. hatten sich mit der Untersuchung der Spectra einiger Fixsterne nud Planeten beschäftigt; aber ihre Arbeiten erstreckten sich meist nur auf die Lage der dunkeln Linien, die sich in ihrem Spectrum vorfanden, und auf ihre Beziehung zu den Fraunhofer'schen Linien des Sonnenspectrums, ohne die Natur derselben und ihren Zusammenhang mit der stofflichen Zusammensetzung der Weltkörper zu ahnen. Erst mit der Kirchhoff'schen Theorie der Fraunhofer'schen Linien (1859) beginnt zugleich die Spectralanalyse der Himmelskörper, der Sonne, der Planeten, der Fixsterne, der Nebelsterne und Nebelhaufen, der Kometen und der Meteore.

Wenn man bedenkt, dass das Licht der Sterne und besonders der Nebelflecke und Kometen sehr schwach ist, und in den nördlichen Klimaten nur sehr wenige Nächte, in denen das Licht der Sterne weder durch Mondschein überstrahlt, noch durch Nebel oder Wolken verdeckt wird, dem Beobachter dieser lichtschwachen Himmelskörper günstig sind; wenn man noch dazu nimmt, dass alle In-

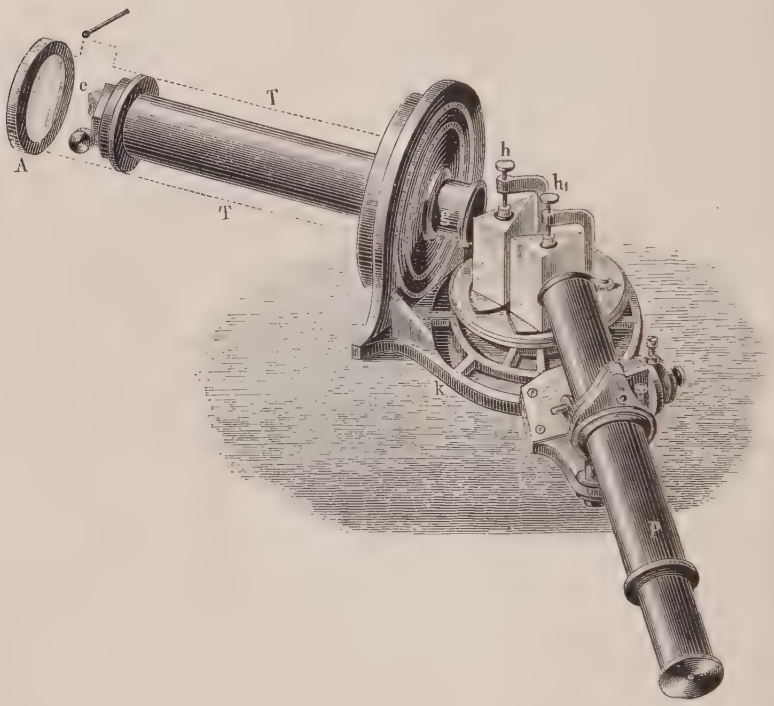
William Huggins.

strumente an der täglichen Umdrehung der Erde Theil nehmen, und es ganz besonderer und complicirter Uhrwerke bedarf, um die Fernrohre derart in entgegengesetzter Bewegung zu erhalten, dass das Bild eines Sterns einige Zeit hindurch unverrückt im Gesichtsfelde bleibt, so wird man die Schwierigkeiten nicht unterschätzen, welche mit den spectralanalytischen Untersuchungen der Gestirne verbunden sind, und das Verdienst um so höher anschlagen, welches sich Männer wie P. Antonio Secchi, Director des Observatoriums am Collegio Romano zu Rom, William Huggins, Grundbesitzer in Upper-Tulse-Hill und Allan Miller, Vicepräsident der Royal-Society in London, durch ihren unermüdlichen Eifer und ihre Beharrlichkeit in der Ueberwindung so vieler Schwierigkeiten erworben haben.

Dass auch die besten Spectroskope, wie sie zu spectralanalytischen Untersuchungen irdischer Stoffe construirt werden, zur Analyse des von den Sternen kommenden Lichtes nicht geeignet sind, liegt auf der Hand. In allen Fällen, wo die Abstände der Linien im Sternspectrum gemessen oder deren Lage mit den Spectrallinien irdischer Stoffe verglichen werden sollen, muss das Instrument mit einem parallactisch montirten Teleskope oder einem Aequatorial verbunden werden, einem Fernrohre, welches sich mit gleicher Geschwindigkeit, wie die Erde, aber in einer entgegengesetzten Richtung dreht und es bewirkt, dass ein Stern, auf welchen das Rohr einmal eingestellt worden ist, von seinem Aufgang bis zu seinem Untergange stets im Gesichtsfelde bleibt. Die Drehung eines solchen Rohres wird in der Regel durch ein Uhrwerk bewirkt, wie wir es an der Fig. 78 näher erläutert haben.

Das Bild eines Sterns im Fernrohr ist bekanntlich ein Punkt; um davon ein Spectrum zu erhalten, muss dieser Punkt vorab in eine kurze Lichtlinie verwandelt werden,

Fig. 103.



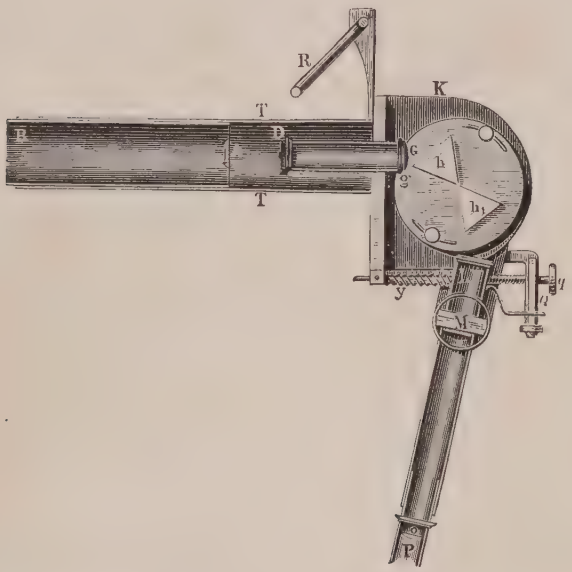
Sternspectroskop von Huggins. (Perspectivische Ansicht.)

auf welche dann der Spalt des Spectroskops gerichtet werden kann, um diese Lichtlinie zu einem Spectralbande auszudehnen. Dass ausserdem noch besondere optische Einrichtungen getroffen werden müssen, um das wenige Licht, welches ein Stern zu uns sendet, möglichst zu sammeln und zu jener Lichtlinie zu condensiren, und dass

wegen der geringen Lichtstärke des Sterns die Dispersionskraft des Spectroskops nicht gross sein darf, letzteres also nur wenige Prismen erhalten wird, versteht sich von selbst.

Endlich müssen passende Vorkehrungen getroffen

Fig. 104.



Sternspectroskop von Huggins. (Horizontaler Durchschnitt.)

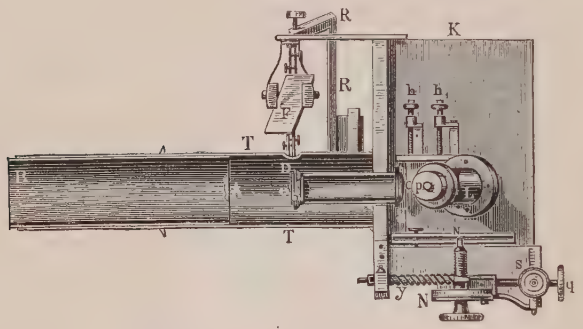
werden, dass man in der nächsten Nähe des Spectroskops nach den bekannten Methoden sei es mittelst der Bunsenschen Brenner oder besser noch mittelst des elektrischen Funkens eines Ruhmkorff'schen Apparates alle Arten von irdischen Stoffen glühen und verflüchtigen, und das Licht, welches ihre Dämpfe ausstrahlen, behufs spectralanalytischer Vergleichung mit dem Sternspectrum durch ein kleines,

die Hälfte des Spalts bedeckendes Vergleichprisma (Fig. 42) in das Spectroskop werfen kann.

Es wird nun leicht sein, die Einrichtung des von John Browning in London construirten Sternspectroskops von Huggins aus den Abbildungen Fig. 103, 104 und 105, in welchen die wesentlicheren Theile des Instrumentes dargestellt sind, zu verstehen.

Von dem parallactisch montirten Teleskope ist in der

Fig. 105.



Sternspectroskop von Huggins. (Theilweise verticaler Durchschnitt.)

Zeichnung nur der äussere Tubus *TT* am Ocular, welcher bei der Spectralbeobachtung nicht vorhanden ist, zu sehen; alle übrigen Theile sind weggelassen. Das Spectroskop wird an dem Ocularende *TT* des Rohres, eines Refractors von 8 Zoll Oeffnung und 10 Fuss Brennweite, befestigt und durch das Uhrwerk mit diesem in Bewegung gesetzt.

In dem Aequatorialtubus *TT* lässt sich ein Rohr *B* mit einer planconvexen Cylinderlinse *A* von 1 Zoll Oeffnung und 14 Zoll Brennweite auf- und abschieben; letztere

wird in den Gang der von dem Objectivglas kommenden, convergirenden Strahlen so eingestellt, dass die Achse der Cylinderfläche zu dem Spalte D des Spectroskops senkrecht steht und sich ein hinlänglich breites Spectrum der Lichtlinie bildet; der Spalt D befindet sich genau im Brennpunkte des Objectivglases des Teleskops. Hinter dem Spalte befindet sich, wie gewöhnlich, die Collimatorlinse g, welche die Strahlen parallel auf das Prisma zu werfen hat. Die Linse ist achromatisch und hat bei 4,7 Zoll Brennweite eine Oeffnung von $^1/_2$ Zoll. Bei diesem Verhältnisse fängt die Linse g alles Licht auf, welches von dem linearen Bilde des Sterns, wenn dasselbe genau zwischen die beiden Ränder des Spalts gebracht worden ist, divergirend ausgeht. Die aus der Linse g parallel austretenden Lichtstrahlen gehen durch zwei Prismen h, h_1 von schwerem Flintglase und 60 Grad Brechungswinkel, werden dadurch zerlegt und bilden ein Spectrum, welches mittelst eines kleinen, achromatischen Fernrohres p betrachtet wird. Um die Abstände der einzelnen Linien im Spectrum messen zu können, lässt sich das Fernrohr mittelst einer feinen Mikrometerschraube qy um einen Zapfen drehen.

Das Objectiv dieses Fernrohrs hat 0,8 Zoll Oeffnung und 6,75 Zoll Brennweite; das gewöhnlich angewandte Ocular giebt eine 5,7fache Vergrösserung; die Mikrometerschraube ist so eingerichtet, dass man nahe $^1/_{1800}$ des Intervalls zwischen den beiden Linien A und H des Sonnenspectrums mit Sicherheit messen kann.

Das Licht der irdischen Stoffe, deren Spectra mit dem eines Sterns verglichen werden sollen, wird auf folgende Weise in das Spectroskop gebracht.

Die eine Hälfte des Spalts D ist mit einem kleinen Vergleichsprisma e bedeckt; diesem gegenüber ist ein Spiegel F (Fig. 105) an einem mit dem Aequatorial TT' verbundenen Rahmen R so befestigt, dass man ihn leicht nach allen Seiten drehen kann. Er empfängt das Licht der im Inductionsfunken glühenden Substanzen, die von einer auf gehärtetem Kautschuk sitzenden Klemme in der richtigen Lage gehalten werden, und reflectirt es durch eine im Tubus TT' angebrachte seitliche Oeffnung in das Innere des Rohrs gerade auf das Vergleichsprisma e. Während daher das Licht des Sterns durch die eine Hälfte des Spalts dringt, geht das der irdischen Stoffe durch die andere Hälfte, und es entstehen im Fernrohre p gleichzeitig zwei Spectra so übereinander, dass man das Coincidiren oder die gegenseitige Lage der dunkeln Linien des Sterns und der hellen Linien des irdischen Stoffes genau beobachten kann.

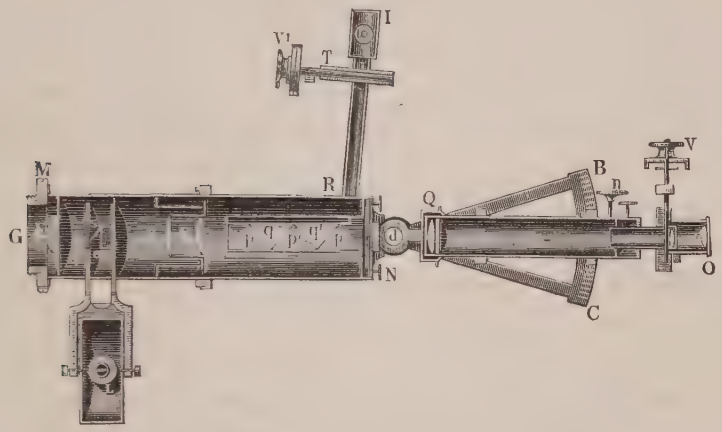
Secchi bedient sich bei seinen Untersuchungen über die Sternspectra vorzugsweise eines einfachen Spectroskops à vision directe, weil ein Winkelspectroskop während der Bewegung des Aequatorials, mit welchem es verbunden ist, leicht das Gleichgewicht des ganzen Systems stört und es dann nicht mehr dem Gange des Uhrwerks ruhig und sicher folgt.

In Fig. 106 ist das Secchi'sche Spectroskop ohne das Aequatorial abgebildet. MN ist das Hauptrohr, welches bei M ein Schraubengewinde hat, mit welchem es in das offene Ocularrohr G des Aequatorials eingeschraubt wird. Mit diesem Rohre ist ein dreieckiger Arm QBC fest verbunden, auf dessen eingetheiltem Kreisbogen CB sich das

Fernrohr QO mit Hülfe einer feinen Mikrometerschraube u behufs Messung der Spectrallinien um den Zapfen d drehen lässt.

E ist eine achromatische Cylinderlinse, die sich mit ihrer Achse senkrecht oder parallel zum Spalt stellen lässt; e der Spalt selbst und s ein kleines unter 45 Grad gegen den Spalt geneigtes Spiegelchen, dessen obere Hälfte un-

Fig. 106.



Sternspectroskop von P. Secchi.

belegt ist und das Licht des Sterns unbehindert durchlässt, dessen andere Hälfte aber spiegelnd wirkt und das Licht der seitwärts bei L entstehenden elektrischen Funken und der darin glühenden Stoffe nach der unteren Spalthälfte reflectirt.

KK sind zwei achromatische Linsen, die, weil ihr combinirter Brennpunkt im Spalte liegt, als Collimatoren wirken und die von dem Spalte ausgehenden Lichtstrahlen in paralleler Richtung auf das Prismensystem werfen.

pqp^1q^1p'' sind 5 Hofmann'sche Prismen (2 von stark brechendem Flintglase, 3 von Crownglas), die, wie wir bereits S. 109 angeführt haben, das einfallende weisse Licht zu einem Spectrum zerlegen, ohne es aus der Einfallsrichtung abzulenken (à vision directe). Auf diese Weise gelangen die prismatischen Strahlen in der Richtung Gd in das Fernrohr QO, und letzteres kann daher direct mit der Achse des Aequatorials auf den Stern gerichtet werden.

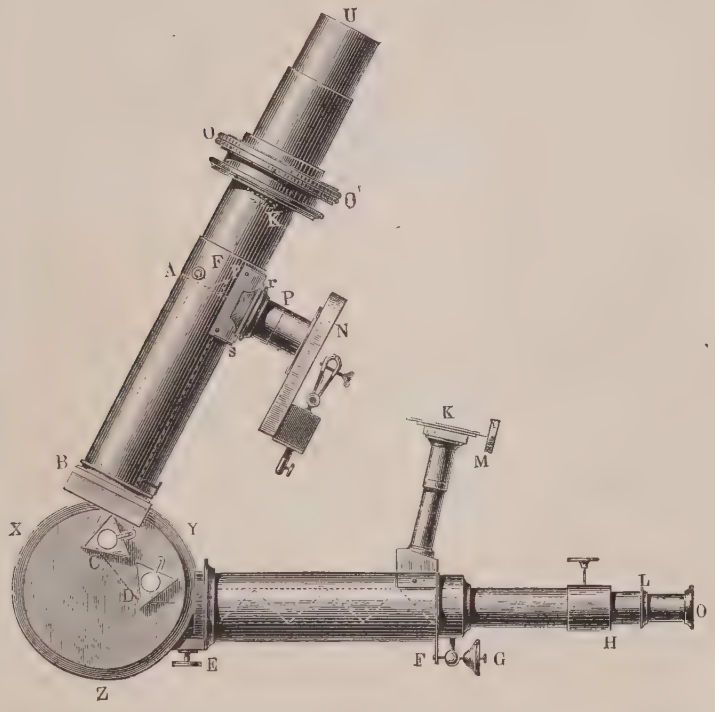
RT endlich ist ein seitlicher Collimator; in dem Brennpunkte seiner Linse R lässt sich mit Hülfe einer sehr feinen Mikrometerschraube V^1 ein Metallplättchen T hin- und herbewegen, welches nur einen einzigen, aber äusserst feinen Spalt hat. Durch diesen Spalt fällt das Licht einer bei l in einem Gehäuse eingeschlossenen Lampe und bildet so im Innern des Rohres RI eine sehr feine Lichtlinie, die an der Vorderfläche des ersten Prismas p'' reflectirt in das Fernrohr QO gelangt und dem Beobachter bei der Untersuchung der relativen Lage der Spectrallinien als Marke dient.

Um auch die feineren dunkeln Linien in den Spectren wahrnehmen und mit den Linien irdischer Stoffe vergleichen zu können, haben sowohl Secchi als Huggins in der neueren Zeit Apparate construirt, welche aus einzelnen Prismen und Hofmann'schen Prismensystemen zusammengesetzt sind.

Fig. 107 zeigt das zusammengesetzte Spectroskop von Secchi ohne das Aequatorial; dasselbe ist besonders für Himmelskörper von grösserem Durchmesser geeignet. Vermittelst der Schraube OO^1 wird das Instrument in das Ocu-

larrohr des Refractors eingeschraubt; bei K befindet sich, wie vorhin, eine Cylinderlinse, welche das als Punkt erscheinende Lichtbild der Sterne zu einer feinen Lichtlinie ausdehnt;

Fig. 107.



Grosses Telespectroskop von P. Secchi.

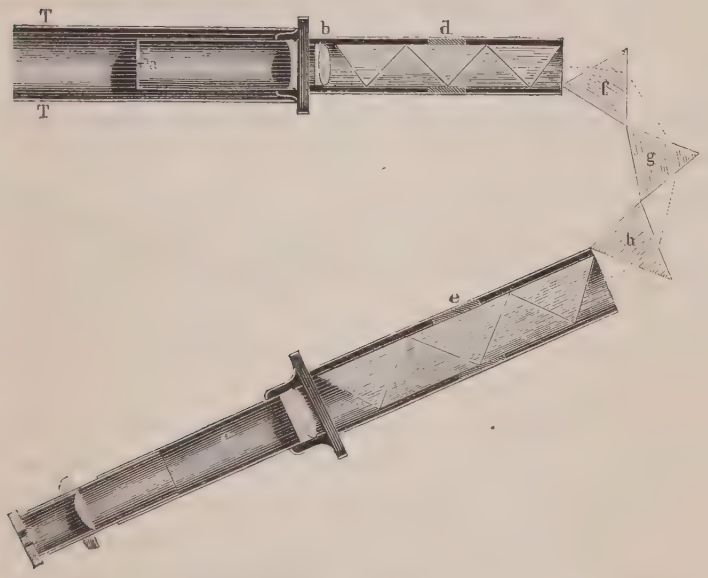
dieselbe kann auch durch andere Linsen ersetzt werden. F der Spalt, zur Hälfte mit einem Vergleichsprisma p bedeckt; B die Collimatorlinse, um die Strahlen in paralleler Richtung auf das erste Prisma C zu bringen. Die beiden Prismen C und D von schwerem Flintglase sind

auf einer Platte XYZ befestigt und haben einen brechenden Winkel von 60 Grad; sie werfen das Spectrum des Gestirns in die Achse des geradlinigen Spectroskops $EFHO$, welches ein aus 5 Prismen zusammengesetztes Hofmann'sches Prismensystem EF, das Beobachtungsrohr HO und, wie das vorige Instrument, das Seitenrohr K mit einer graduirten Scala enthält; letztere lässt sich durch eine Mikrometerschraube M bewegen und wird beim Gebrauche des Instrumentes, wie gewöhnlich, durch eine Lampenflamme erleuchtet; das Bild der Scala fällt dann durch den Reflex an der Vorderseite des letzten Prismas in das Fernrohr O, wo das Auge mit dem Spectrum des Sterns zugleich die Theilstriche der Scala wahrnimmt. N ist eine Zange zum Halten der Geissler'schen Röhren.

Das grosse zusammengesetzte Telespectroskop von Huggins ist in Fig. 108 abgebildet; es besteht aus zwei Hofmann'schen Prismensystemen, jedes zu 5 Prismen, und drei vorzüglichen einzelnen Prismen, zwei von 60 Grad und eines von 45 Grad, im Ganzen also aus 13 Prismen. Das Spectroskop wird wie gewöhnlich in den Oculartubus TT eines mit Uhrwerk versehenen Aequatorials eingeschraubt. a ist der Spalt, der mit den oben beschriebenen Einrichtungen eines Vergleichsprismas und Funkenerzeugers für die gleichzeitige Beobachtung der Spectra eines Sterns und der irdischen Stoffe versehen ist. b ist die achromatische Collimatorlinse von 4,5 Zoll Brennweite, welche die durch den Spalt eintretenden Strahlen parallel macht. Das Licht wird zuerst durch das Prismensystem d zerlegt, darauf nach der Reihe durch die drei Prismen f, g von 60 Grad und h von 45 Grad weiter zerstreut

und in den einzelnen farbigen Strahlen weiter auseinander getrieben, passirt dann nochmals ein geradliniges Prismensystem *e* und gelangt dann erst zu dem Objectiv des Fernrohrs *c*. Das letztere Prismensystem *e* befindet sich in einem Rohre, das mit dem Fernrohre *c* fest ver-

Fig. 108.



Das grosse Telespectroskop von Huggins.

bunden ist; mit Hülfe einer Mikrometerschraube lässt sich das Fernrohr auf jeden Theil des Spectrums richten, was namentlich bei der Beobachtung von Nebelhaufen nothwendig ist, weil diese nicht selten nur Licht von zwei oder drei verschiedenen Farbengattungen ausstrahlen.

Die Prismen *e* können nach Belieben eingesetzt oder entfernt werden, wodurch das Instrument sich innerhalb

der Grenzen einer Zerstreuungskraft von $4^1/_2$ bis zu $6^1/_2$ Prismen von 60 Grad verwenden lässt. Die Möglichkeit, die Zerstreuungskraft des Spectroskops zu verkleinern, erweist sich als sehr vortheilhaft bei der Beobachtung von lichtschwachen Objecten und in Nächten, wenn die atmosphärischen Verhältnisse ungünstig sind.

Die Vorzüglichkeit der Prismen und des ganzen Instrumentes giebt sich an der grossen Reinheit und Schärfe zu erkennen, mit welcher selbst bei der grössten Vergrösserung auch die feinsten Linien im Spectrum unterschieden werden können, wenn Metalle in dem elektrischen Funken verflüchtigt werden.

Endlich müssen wir noch der einfachen Spectroskope erwähnen, welche sowohl von Secchi als von Huggins zu verschiedenen Zwecken und in solchen Fällen angewandt werden, wo die zusammengesetzteren Instrumente wegen ihrer Schwerfälligkeit ihren Dienst versagen. Huggins benutzte solche Handspectroskope schon längst, um die Spectra der Sternschnuppen und anderer rasch vorübergehender Himmelserscheinungen zu beobachten; ebenso wurde eine Anzahl derselben den verschiedenen Expeditionen zur Beobachtung der Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868 mitgegeben, bei welcher Gelegenheit sich dieselben als sehr brauchbar erwiesen haben.

Diese kleinen von John Browning construirten Instrumente bestehen, wie Fig. 109 zeigt, wesentlich aus einem geradlinigen Prismensystem *c* und dem Fernrohre *a b*. Das achromatische Objectiv *a* hat 1,2 Zoll im Durchmesser und eine Brennweite von etwa 10 Zoll. Das Ocular *b* besteht aus zwei planconvexen Linsen. Da ein grosses

Gesichtsfeld sehr wichtig ist, besonders zum Gebrauche als Meteor-Spectroskop, so hat die dem Objectiv *a* zugekehrte Linse beinahe einen gleichen Durchmesser, als das Objectiv *a* selbst und ist in einem verschiebbaren Rohre befestigt, um den Abstand zwischen den beiden Linsen des Oculars und damit die Vergrösserungskraft des Instrumentes innerhalb gewisser Grenzen verändern zu können. Das Prismensystem besteht aus einem Prisma von schwerem Flintglase und zwei Prismen von Crownglas.

Das Gesichtsfeld dieser Handspectroskope umspannt

Fig. 109.

Browning's Handspectroskop.

am Himmel einen Raum von etwa 7 Grad Durchmesser; das Spectrum eines hellen Sterns hat eine scheinbare Länge von 3 Grad und selbst das Spectrum des grossen Nebelflecks im Orion erscheint als zwei helle Linien mit schwachem continuirlichen Spectrum.

Um die Wirksamkeit des Instrumentes als Meteor-Spectroskop zu prüfen, beobachtete Huggins die Spectra eines Feuerwerks aus einer Entfernung von ungefähr drei englischen Meilen. Die hellen Linien der in dem Feuerwerk glühenden Metalle waren mit grosser Deutlichkeit sichtbar und wiesen darin Natrium, Magnesium, Strontium, Kupfer und einige andere Metalle mit völliger Bestimmtheit nach. Ebenso zeigt dasselbe einige Fraunhofer'sche Linien in dem Spectrum der Spitze der noch sehr feinen

Mondsichel, so wie die dunkeln Linien in den Sternspectren. Um jedoch dem Spectrum eines Sterns, das in dem Instrumente bloss als helle Linie erscheint, einige Breite zu geben, wird noch eine kleine Cylinderlinse unmittelbar vor dem Auge über das Ocular geschoben. Da das Instrument nicht mit einem Spalte versehen ist, so ist es nur auf helle Gegenstände von geringer Grösse anwendbar oder auf Objecte von solcher Entfernung, dass sie nur eine kleine scheinbare Grösse haben.

52. Das Spectrum des Mondes und der Planeten.

Wenn die Planeten und deren Monde kein eigenes Licht ausstrahlen und nur dadurch leuchten, dass sie das Licht der Sonne reflectiren, so müssen ihre Spectra dem Sonnenspectrum ähnlich sein, und etwaige Unterschiede können nur daher rühren, dass das Sonnenlicht bei der Reflexion an der Oberfläche dieser Himmelskörper oder bei seinem Durchgange durch ihre Atmosphären einige Veränderungen erleidet.

Das Spectrum des Mondes fanden Huggins und Miller in vollkommenster Uebereinstimmung mit dem der Sonne; es konnte an den verschiedenen der Untersuchung unterzogenen Stellen der Mondscheibe weder in Beziehung auf die relative Intensität, noch auf das Hinzukommen oder Verschwinden von Linien, irgend eine Aenderung in den dunkeln Linien des Spectrums wahrgenommen werden. Es muss aus dieser gänzlichen Abwesenheit von besonderen Absorptionslinien der Schluss gezogen werden, dass der

Mond keine Atmosphäre hat, was auch aus dem Umstande hervorgeht, dass bei einer Sternbedeckung, wenn ein Stern hinter die Mondscheibe tritt und dadurch unserm Anblick entzogen wird, keine Strahlenbrechung am Mondrande wahrgenommen werden kann.

In dem Spectrum der Planeten Jupiter, Saturn, Venus und Mars haben Huggins, Miller, Secchi und Janssen die von der Sonnenatmosphäre herrührenden Fraunhofer'schen Linien deutlich erkannt; ausserdem aber sind darin, mit Ausnahme der Venus, dieselben Absorptionslinien zu sehen, welche wir als Erdlinien (41) und als Anzeichen von dem Vorhandensein einer wasserdampfhaltigen Atmosphäre kennen gelernt haben. Das Spectrum des Saturn, das im Allgemeinen schwach ist, und das des Jupiter zeigt im Roth eine starke schwarze Linie, die mit keiner der Absorptionslinien der Erdatmosphäre zusammenfällt. Ob diese Linie zu den von Janssen beobachteten Wasserdampflinien gehört und demnach die Atmosphäre auch dieser Planeten Wasserdampf enthalte, oder ob in der Saturn- und Jupiter-Atmosphäre ein Körper vorkommt, der in unserer Atmosphäre nicht enthalten ist, lässt sich noch nicht entscheiden.

Das Fehlen von besonderen Absorptionslinien in dem Spectrum der Venus, welches sehr glänzend ist und alle Fraunhofer'schen Linien sehr deutlich zeigt, berechtigt noch nicht zu dem Schlusse, dass dieser Planet keine Atmosphäre besitze. Aus anderen Beobachtungen scheint hervorzugehen, dass eine Strahlenbrechung am Rande der Venus stattfindet und daher eine Atmosphäre daselbst vorhanden ist. Es ist denkbar, dass diese Atmosphäre nicht hoch

genug ist, um eine hinlänglich kräftige Absorption hervorzurufen, oder auch, dass das Licht der Sonne nicht von der Oberfläche des Planeten, sondern von Wolken, die in einer gewissen Höhe über dieser Oberfläche schweben, reflectirt wird, und so das Licht, welches durch Reflexion zu uns kommt, der absorbirenden Kraft der unteren und dichteren Schichten der Venusatmosphäre gar nicht ausgesetzt gewesen ist.

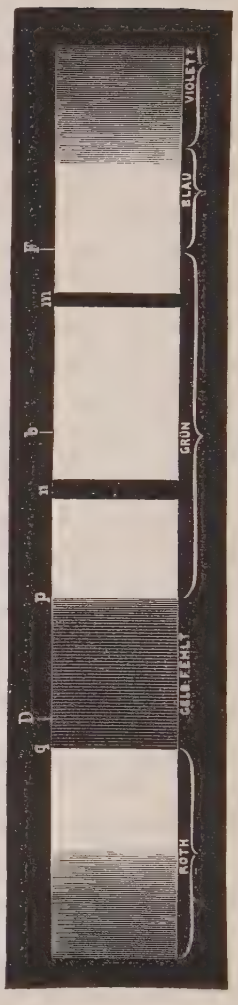


Fig. 110. Das Spectrum des Uranus.

Das Spectrum des Uranus ist in der jüngsten Zeit von Secchi untersucht worden und erscheint als eines der bemerkenswerthesten, welches man sich denken kann. Es hat zunächst zwei breite schwarze Streifen, eine *m* (Fig. 110) im Grünblau, aber nicht mit der *F*-Linie coincidirend, die andere *n* im Grün nahe bei der Linie *E*. In einer kleinen Entfernung von diesem letzteren Streifen verschwindet das Spectrum vollständig und zeigt eine Lücke *pq* bis über das Gelb hinaus; bloss im Roth erscheint noch ein wenig Licht. Das Spectrum ist also ein solches, wie es sein müsste, wenn aus dem Sonnenlichte alle gelben Strahlen

ausgelöscht würden. Bekanntlich liegt die schwarze Linie *D* des Natriums in dieser breiten und lichtleeren Stelle. Hat dieses Metall vielleicht auf diese sonderbare Erscheinung Einfluss, oder ist dieser Planet, dessen Spectrum nicht das der Sonne ist, selbstleuchtend? Hat er vielleicht noch nicht denjenigen Grad der Consistenz erlangt, welchen wir an den unteren, nicht leuchtenden Planeten wahrnehmen, und befindet er sich, wie es die photometrischen Untersuchungen Zöllner's vermuthen lassen, gegenwärtig noch in einem Stadium der Verdichtung und Ausbildung, welches der Erdkörper bereits durchgemacht hat? Auch diese Frage lässt sich gegenwärtig noch nicht entscheiden und fordert zunächst noch zu erneuerten Beobachtungen über dieses seltsame Phänomen auf, das sich bis jetzt bei keinem andern Planeten gefunden hat.

53. Das Spectrum der Fixsterne.*

Die Fixsterne, obgleich sie unermesslich weit von uns entfernt sind und einen geringeren Glanz haben, als der Mond und die Planeten, geben uns doch viel vollständigere Anzeichen über ihre physische Natur, weil sie die Quellen eines eigenen, selbständigen Lichtes sind. Von je her, zu allen Zeiten und bei allen Völkern

* Bei den die Fixsterne und Nebelflecke betreffenden Darstellungen folgen wir vorzugsweise und stellenweise wörtlich der vortrefflichen Abhandlung: „Spectrum Analysis, applied to the Heavenly Bodies. A Discourse, delivered at Nottingham before the British Association 1866 by William Huggins." Ebenso wurde benutzt: „Sugli Spettri prismatici dei corpi celesti; Memorie del R. P. A. Secchi. 1868."

sind die Sterne der Gegenstand einer geheimnissvollen Bewunderung und nicht selten einer göttlichen Verehrung gewesen. Bei den grössten Forschern und den tiefsten Denkern, welche sich mit der Betrachtung des gestirnten Himmels beschäftigt haben, wiederholt sich ein Zug sehnsüchtigen Verlangens nach einer näheren Bekanntschaft mit diesen glänzenden Körpern, das in den beiden Zeilen des englischen Volksliedchens

Twinkle, twinkle, pretty Star,
How I wonder, what you are!
(Funkle, funkle schöner Stern,
Was Du bist, wie wüsst' ich's gern!)

einen so schönen Ausdruck findet.

Man hat seine Zuflucht genommen zu Teleskop und Fernrohr; aber vergebens; denn selbst in den grössten Instrumenten dieser Art erscheinen die Fixsterne nicht als Scheiben, sondern als einfache glänzende Punkte. Man betrachtete diese Sterne als wirkliche Sonnen, jede einzelne umgeben von einer Familie von Planeten; aber diese Ansicht hatte keine andere Stütze, als die einer möglichen Analogie; über die eigentliche Natur und die stoffliche Zusammensetzung dieser entlegenen Lichtpunkte lässt uns das Fernrohr vollständig im Dunkeln. Die Spectralanalyse allein kann hierüber einige Aufschlüsse geben; sie giebt uns das Mittel an die Hand, um in dem Lichte, welches aus jenen Himmelskörpern ausstrahlt, die Anzeichen über ihre wahre Natur und ihre physische Constitution zu lesen. In diesem Lichte besitzen wir eine telegraphische Leitung zwischen den Gestirnen und unserer Erde; das Spectroskop ist der Telegraph, die einzelnen Spectrallinien sind die Buchstaben des Alphabets, ihre Gesammt-

heit als Spectrum bildet die Telegramme. Es ist nicht gerade leicht, diese Sprache der Gestirne zu verstehen; doch ist es den unermüdlichen Forschern Secchi, Huggins und Miller bereits gelungen, die glänzenderen Sterne, die Nebelflecke und einige Kometen spectralanalytisch zu erforschen und bestimmte Resultate über ihre stoffliche Zusammensetzung zu gewinnen.

Da im Allgemeinen die Spectra der Fixsterne dem Spectrum der Sonne ähnlich sind, continuirliche von dunkeln Linien durchzogene Spectra, so ist aller Grund vorhanden, die Kirchhoff'sche Theorie auch auf die Fixsterne anzuwenden und für diese ähnliche Verhältnisse gelten zu lassen, wie wir sie für die Sonne angenommen haben. Unter dieser Voraussetzung, dass nämlich die feste oder flüssige weissglühende Photosphäre des Sterns von heissen Dämpfen umgeben ist, welche diejenigen Lichtstrahlen absorbiren, die sie, wenn sie selbst leuchteten, ausstrahlen würden, können wir aus den dunkeln Linien des Sternspectrums die Stoffe, welche in der Fixsternatmosphäre enthalten sind, erkennen. Um dabei mit voller Sicherheit zu verfahren, müssen die hellen Spectrallinien der irdischen Stoffe durch Glühen und Verdampfen dieser Stoffe in dem elektrischen Funken mit den dunkeln Spectrallinien des Sterns verglichen werden; das genaue Zusammenfallen der charakteristischen hellen Linien eines irdischen Stoffes mit ebenso vielen dunkeln Linien des Sterns berechtigt dann zu dem Schlusse, dass dieser Stoff in der Sternatmosphäre enthalten ist, ein Schluss, der um so mehr an Zuverlässigkeit gewinnt, je grösser die Anzahl der coincidirenden Linien beider Spectra ist.

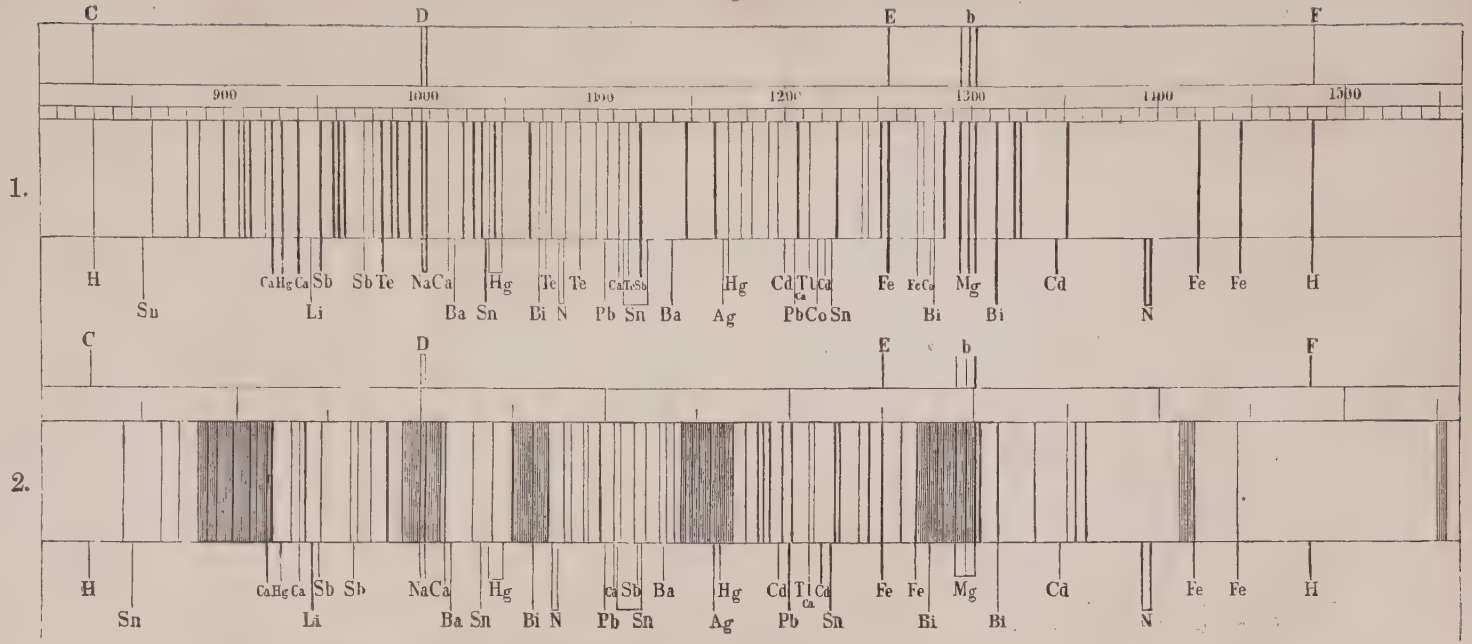
Huggins hat, um die Resultate seiner Beobachtungen einem grösseren Kreise von Zuhörern anschaulich darstellen zu können, in Gemeinschaft mit Miller von den ausgeprägteren Sternspectren genaue Zeichnungen angefertigt und dieselben in der Grösse von zwei Zoll auf Glas photographiren lassen. Mittelst dieser transparenten und in den Farben des Spectrums colorirten Photographien* ist es möglich, unter Anwendung der Duboscq'schen Laterne und des elektrischen oder des Drummond'schen Kalk-Lichtes diese Sternspectra in so starker Vergrösserung auf dem Schirme zu zeigen, dass auch aus grosser Entfernung die dunkeln Linien derselben noch deutlich unterschieden werden können.

Die Fig. 111 zeigt die glänzenden Spectra der beiden Sterne erster Grösse, des Aldebaran im Stier (α Tauri) und des Beteigeuze (α Orionis) nach diesen Photographien. Die Lage aller dieser dunkeln Linien, ungefähr achtzig in jedem Spectrum, welche das continuirliche, von der Fraunhofer'schen *C*-Linie bis zur *F*-Linie dargestellte Spectrum der Sterne durchziehen, ist von Huggins und Miller durch genaue und öfter wiederholte Messungen bestimmt worden. Die gemessenen Linien sind indessen nur ein kleiner Bruchtheil der unzählig vielen feinen Linien, welche man in den Spectren dieser Sterne wahrnimmt.

Unter dem Spectrum eines jeden Sterns sind die hellen Linien der Metalle, mit denen man sie verglichen hat,

* Dieselben werden von W. Ladd, 11 & 12 Beak Street, Regent Street, London, — W. und von J. Duboscq, 21 rue de l'Odéon, Paris, debitirt.

Fig. 111.



1. Spectrum des Aldebaran (α Tauri)
2. Spectrum des Beteigeuze (α Orionis)

} verglichen mit den Spectren der Sonne und der irdischen Stoffe.

verzeichnet worden. Diese Spectra der irdischen Stoffe erscheinen in dem Spectroskope als helle Linien auf dunkelm Grunde in der Lage, wie wir sie in der Fig. 111 erblicken, und zwar dicht unter dem Spectrum des Sterns, so dass man mit grosser Schärfe erkennen kann, ob diese hellen Linien genau mit den dunkeln Linien des Sterns coincidiren oder nicht.

Wir sehen z. B., dass die Doppellinie *D*, welche für das Natrium charakteristisch ist, Linie für Linie mit einer dunkeln und gleichfalls doppelten Linie in beiden Sternen zusammenfällt; Natriumdampf ist daher in der Atmosphäre dieser Sterne enthalten und das Natrium bildet einen Bestandtheil dieser glänzenden und so weit entfernten Weltkörper.

Die drei hellen Linien *Mg* im Grün werden, so viel wir jetzt wissen, ausschliesslich durch den leuchtenden Dampf von Magnesium hervorgebracht; sie fallen der Lage nach ganz genau, Linie für Linie, mit drei dunkeln Linien *b* der Sterne zusammen. Wir sind daher berechtigt zu schliessen, dass das Magnesium ebenfalls ein Bestandtheil dieser Sterne ist.

Ebenso entsprechen die beiden intensiven, mit *H* bezeichneten hellen Linien, die das Wasserstoffgas charakterisiren, die eine im Roth, die andere im Grün, ganz genau den dunkeln Absorptionslinien *C* und *F* im Spectrum vom Aldebaran, nicht aber in dem des Beteigeuze; es ist daher in der Atmosphäre des Aldebaran Wasserstoffgas vorhanden, nicht aber in der des α Orionis. Auf gleiche Weise erkennt man, dass auch noch andere Elemente, darunter Wismuth, Antimon, Tellur, Quecksilber Bestandtheile dieser Sterne ausmachen.

Wir müssen wohl beachten, dass für diese verschiedenen Elemente die Gewissheit ihres Vorhandenseins auf den Sternen nicht auf der Coincidenz von nur einer Linie beruht, was nur ein schwaches Argument sein würde, sondern auf dem Zusammenfallen einer Gruppe von zwei, drei oder vier Linien, welche noch dazu in ganz verschiedenen Stellen des Spectrums liegen. Wir würden ohne Zweifel, wie bei der Sonne, noch das Coincidiren von vielen anderen hellen und dunkeln Linien nachweisen können, wenn das Licht der Sterne intensiver wäre; das schwache Sternenlicht zwingt uns jedoch, die Vergleichung auf die stärksten Linien der einzelnen irdischen Stoffe zu beschränken.

Man könnte fragen, welche Elemente wohl von den zahlreichen andern dunkeln Linien und Streifen der Sterne angezeigt werden? Einige von ihnen rühren ohne Zweifel von den Dämpfen anderer irdischer Stoffe her, die wir noch nicht mit den Spectren der Sterne verglichen haben; aber warum sollten nicht andere von Urstoffen oder Substanzen, die auf unserer Erde nicht vorkommen, oder die wir noch nicht kennen, herrühren? Solche uns unbekannte Elemente könnten sich dort zu einer Reihe von wichtigen Verbindungen vereinigt haben, welche diesen entlegenen Weltkörpern das Gepräge einer ganz besonderen physischen Existenz aufdrückten.

Das Resultat der Vergleichung der beiden obigen Sternspectra mit den irdischen Stoffen ergiebt folgende Tabelle:

Irdische Stoffe verglichen mit Aldebaran.

Zusammenfallend.	Nicht zusammenfallend.
1. Wasserstoff mit den Linien *C* u. *F*.	Stickstoff 3 Linien vergl.
2. Natrium mit der Doppellinie *D*.	Cobalt 2 „ „
3. Magnesium mit der dreifachen Linie *b*.	Zinn 5 „ „
4. Calcium mit vier Linien.	Blei 2 „ „
5. Eisen mit vier Linien und mit *E*.	Cadmium 3 „ „
6. Wismuth mit vier Linien.	Barium 2 „ „
7. Tellur mit vier Linien.	Lithium 1 „ „
8. Antimon mit drei Linien.	
9. Quecksilber mit vier Linien.	

Irdische Stoffe verglichen mit Beteigeuze.

Zusammenfallend.	Nicht zusammenfallend.
1. Natrium mit der Doppellinie *D*.	Wasserstoff 2 Linien vergl.
2. Magnesium mit der dreifachen Linie *b*.	Stickstoff 3 „ „
3. Calcium mit vier Linien.	Zinn 5 „ „
4. Eisen mit vier Linien und mit *E*.	Gold?
5. Wismuth mit vier Linien.	Cadmium 3 „ „
6. Thallium?	Silber 2 „ „
	Quecksilber 2 „ „
	Barium 2 „ „
	Lithium 1 „ „

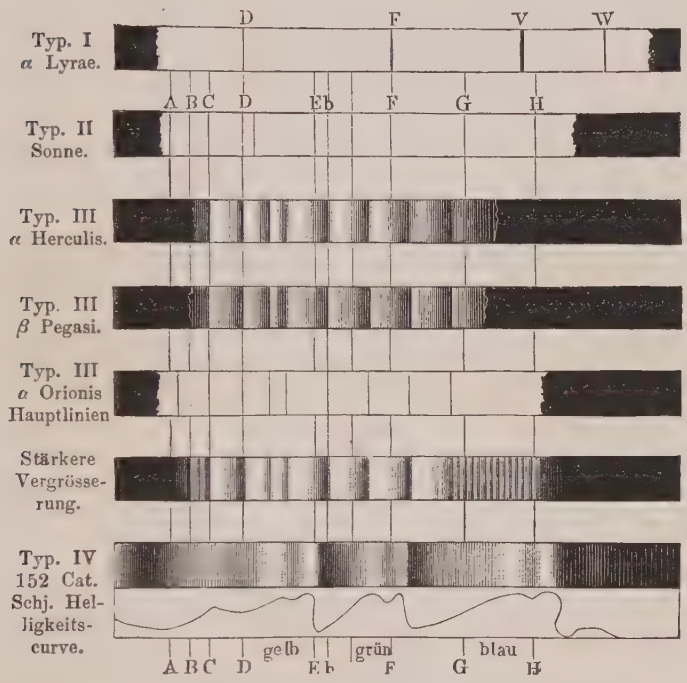
54. Secchi's Fixstern-Typen.

Während Huggins und Miller auf die angegebene Weise etwa hundert der glänzenderen Sterne untersuchten, hatte P. Secchi, der durch die Reinheit des italienischen Himmels seinen englischen Mitarbeitern gegenüber sehr bevorzugt ist, seine Beobachtungen schon im Jahre 1867, wo sein „Catalogo delle Stelle di cui si è determinato lo spettro luminoso all' osservatorio del Collegio Romano" erschien, auf mehr als fünfhundert Fixsterne ausgedehnt; seitdem sind von demselben fleissigen Astronomen noch über hundert neue hinzugekommen, so

P. Antonio Secchi.

dass über die Spectralanalyse der Fixsterne gegenwärtig schon ein ungemein reiches Beobachtungsmaterial vorliegt, welches Secchi vorläufig so weit geordnet hat, dass sich daraus vier Haupttypen von Sternen aufstellen lassen,

Fig. 112.



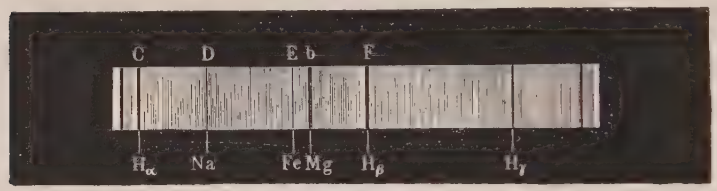
Secchi's Fixstern-Typen.

in welche man bis auf einige höchst merkwürdige Ausnahmen die übrigen einreihen kann.

Den ersten Typus bildet der Stern α Lyrae (Farbentafel, Nr. 12) oder auch der allbekannte hellglänzende Fixstern Sirius. Diese Classe umfasst die meisten Sterne,

welche in weissem Lichte strahlen, und sie ist im Allgemeinen dadurch charakterisirt, dass intensive Bänder von Absorptionslinien fehlen, dagegen das ganze Spectrum in allen seinen Theilen von sehr vielen, aber meist sehr feinen dunkeln Linien durchzogen ist, unter denen jedoch vier einfache sehr starke Linien hervortreten. Von diesen letzteren, Fig. 112, Nr. 1 (*α* Lyrae mit Weglassung der feinen Linien), sind die beiden mit *F* und *V* bezeichneten Wasserstofflinien; Secchi hat indessen neuerdings mit einem vorzüglichen Instrumente nachgewiesen, dass in

Fig. 113.



Spectrum des Sirius.

diesem typischen Spectrum nicht bloss die genannten zwei, sondern vier schwarze Hauptlinien, darunter auch *W*, mit ebenso vielen Wasserstofflinien vollkommen übereinstimmen; die mit *D* bezeichnete Linie ist die Natriumlinie. Es scheint hiernach, dass der Wasserstoff das Hauptelement der absorbirenden Atmosphäre dieser Sterne ausmacht. Ein vollständiges Spectrum des ersten Typus ist das von Huggins gezeichnete Spectrum des Sirius (Fig. 113).

Dass auf den Sternen dieser Art eine ungewöhnlich hohe Temperatur herrscht, scheint einestheils das weisse Licht, das sie ausstrahlen, zu beweisen, anderntheils aber auch der Umstand, dass bei mehreren hierhin gehörigen

Sternen (γ Cassiopeae, β Lyrae u. a.) genau an der Stelle der dunkeln Linie F eine helle Linie erscheint, ein Zeichen, dass das Wasserstoffgas hier nicht absorbirend auftritt, sondern in Folge sehr hoher Temperatur direct ausgestrahlt wird.

Der zweite Typus der Fixsterne wird repräsentirt durch das Spectrum von Arcturus (α Bootes) oder auch von unserer Sonne. Es gehören hierhin meist gelbliche Sterne, deren Spectrum vorzugsweise im Roth und im Blau mit starken dunkeln (Fraunhofer'schen) Linien durchzogen, der gelbe Theil aber fast ganz frei ist. Die Fraunhofer'schen Linien im Spectrum der Sonne (Fig. 112, Nr. 2) geben davon eine Anschauung; der Raum zwischen den Linien A und D ist bekanntlich Roth bis Orange; von D bis E reicht das Gelb; dahinter liegt das Grün und Blau; während die Räume A bis D und E bis G von kräftigen Absorptionslinien durchzogen sind, ist der Raum des Gelb von D bis E fast frei von starken dunkeln Linien. Dass diese Farbe daher im Lichte dieser Sterne vorwaltet, ist begreiflich. Die dunkeln Linien treten übrigens meist scharf hervor und erscheinen nur selten (α Tauri) etwas erbreitert.

Als dritten Typus, der eine Anzahl von Sternen, besonders solchen mit rothem Licht, umfasst, hat Secchi das Spectrum des Sterns α Herculis (Fig. 112, Nr. 3), oder β Pegasi Nr. 4 oder auch α Orionis Nr. 5 und 6 (Farbentafel Nr. 13 und 14) aufgestellt; in Nr. 5 des α Orionis sind bloss die Fundamentallinien gezeichnet, in Nr. 6 ist dasselbe Spectrum vollständiger dargestellt. Die Spectra solcher Sterne erscheinen wie eine Reihe von

Säulen, die von der Seite beleuchtet werden, und haben mit diesen eine wahrhaft stereoskopische Aehnlichkeit. Sind die helleren Streifen schmäler, als die dunkeln, so enthält das Spectrum das Aussehen von aneinandergereihten Cannelirungen. Selbst rothe Sterne bis zur 8. Grösse liessen sich mit Secchi's ausgezeichnetem Instrumente spectroskopisch untersuchen und zeigten dasselbe Verhalten, wogegen von weissen Sternen dieser Grösse ein Spectrum nicht mehr zu erhalten war. Charakteristisch ist noch für diese Sterne, dass ihren Atmosphären der Wasserstoff zu fehlen scheint, da die Linie *F* darin nicht vorkommt.

Bei den rothen Sternen sind die Absorptionslinien mehr Streifen als Linien, ähnlich denen, welche unsere Atmosphäre in dem Sonnenspectrum erzeugt. Die Natriumlinie *D* erscheint daher auch nicht, wie in Nr. 1 oder 2 als eine scharfe Linie, sondern wie in 3, 4, 5 (Farbentafel 13 und 14), stark ausgebreitet und an den Rändern schattirt. Es scheint dieses darauf hinzudeuten, dass diese Sterne von stark absorbirenden Atmosphären umgeben sind, deren Natur jedoch erst dann genauer erkannt werden kann, wenn man vorher den Einfluss, den die Temperatur und der Druck eines Gases auf sein Spectrum ausübt, näher kennen gelernt haben wird.

Der vierte Typus, deren Sterne die sechste Grösse nicht überschreiten, ist im Wesentlichen dadurch charakterisirt, dass das Spectrum aus drei hellen, durch dunkle Zwischenräume getrennten Bändern besteht, von denen das glänzendste im Grün liegt und meist bestimmt und stark ausgebreitet erscheint. Das zweite, viel schwächere, oft kaum sichtbare Band liegt im Blau; das dritte, Gelb, er-

streckt sich bis zum Roth hin und zerfällt in mehrere Abtheilungen.

Alle diese hellen Bänder haben das Eigenthümliche, dass ihr Licht in der Richtung nach dem Violett zunimmt und dann plötzlich abbricht; in der Richtung zum Roth dagegen nimmt ihre Helligkeit bis zum vollständigen Schwarz ab.

Die Spectra dieser Art stehen daher im geraden Gegensatze zu denen des dritten Typus; denn bei den letzteren sind die säulenartigen Bänder nicht bloss auf gleichem Raume des Spectrums doppelt, sondern es ist auch das Maximum ihres Lichtes dem Roth, das dunkele Ende dem Violett zugekehrt. Die beiden Spectra des III. und IV. Typus sind daher keineswegs als blosse Modificationen eines und desselben Grundspectrums zu betrachten, sondern sie entsprechen Substanzen, die vollständig von einander verschieden sind. Die grosse Lichtschwäche dieser Sterne verhindert die Anwendung des Spalts und daher lassen sich die Substanzen, welche das Licht dieser Sterne ausstrahlen, nicht mit Sicherheit angeben; ihre Spectra haben indessen die grösste Aehnlichkeit mit dem Kohlenspectrum.

In Fig. 112 Nr. 7 ist ein Spectrum dieses vierten Typus (Nr. 152 des Kataloges von Schjellerup) gezeichnet; die darunter gezeichnete Curve giebt den Grad der Intensität an, welche das Licht in den verschiedenen Theilen des Spectrums hat. Je weiter sich diese krumme Linie an irgend einer Stelle von der horizontalen entfernt, desto stärker ist an dieser Stelle die Lichtstärke; ein Vergleich zwischen Nr. 7 und Nr. 3 zeigt den Gegensatz zwischen den Typen IV und III.

Nur selten finden sich Sterne, die in keinem dieser vier Typen unterzubringen sind, und selbst solche, die, wie die oben genannten in der Nähe der Cassiopea, einzelne helle Linien zeigen, schliessen sich im Uebrigen dem allgemeinen Typus an.

Secchi ist ferner der Ansicht, dass einzelne Sterntypen in bestimmten Gegenden des Himmels vorherrschen und in anderen fehlen. Das Sternbild des Stiers ist fast nur aus Sternen des ersten Typus gebildet, nur Aldebaran und einige andere sind auszunehmen; der Oriontypus findet sich zugleich in einigen Theilen der Sternbilder des Hundes und des Hasens, während er in andern Regionen des Himmels sehr selten ist.

Aus allen diesen Beobachtungen geht hervor, dass wenigstens die glänzenderen Sterne rücksichtlich ihrer physischen Constitution im grossen Ganzen unserer Sonne ähnlich sind. Ihr Licht strahlt, wie das der Sonne, von einer bis zur höchsten Weissgluth erhitzten Materie aus und durchläuft zugleich eine Atmosphäre von absorbirenden Dämpfen. Aber neben dieser Uebereinstimmung in dem allgemeinen Bau besteht doch eine grosse Verschiedenheit in der Zusammensetzung der einzelnen Sterne; die Gruppirung der verschiedenen Elemente ist für jeden Stern eine besondere und charakteristische, und wir dürfen vermuthen, dass eben diese individuellen Eigenthümlichkeiten eines Sterns zu dem besondern Zwecke seines Daseins und zu den lebenden Wesen, welche die ihn umkreisenden planetarischen Welten bewohnen, in einem nothwendigen Zusammenhange stehen.

55. Die Farbe der Sterne. — Doppelsterne.

Wenn die Luft sehr rein ist, besonders in den südlichen Klimaten, erscheinen uns nicht alle Sterne wie farblose Diamanten; hier und da entdeckt das Auge reich gefärbte Edelsteine, die in rother, grüner, gelber, blauer und violetter Farbe von allen möglichen Tönen am dunkeln Kleide der Nacht erglänzen. Der Astronom, der mit seinem starken Fernrohre auch die schwächsten Objecte zu erkennen vermag, erstaunt ob der Mannigfaltigkeit dieser Farben und der besonderen Art ihrer Vertheilung am Sternenhimmel. Am auffallendsten gewahren wir dieses Farbenspiel bei den Doppelsternen, so genannt von dem Umstande, dass hier zwei oder mehrere Sonnen, durch das Band der gegenseitigen Anziehungskraft mit einander verbunden, je nach dem Verhältnisse ihrer Masse entweder eine um die andere, oder beide um einen gemeinsamen zwischen ihnen liegenden Schwerpunkt ihre Bahnen beschreiben. Dem unbewaffneten Auge erscheinen sie wegen der Nähe, in welcher sie beisammen stehen, nur als einziger Stern; manche von ihnen aber erweisen sich bei hinreichend starker Vergrösserung als ein System von drei, vier und mehreren zusammengehörenden Sonnen; so befindet sich in dem schönen Sternbilde Orion eine Verbindung von sechzehn zusammengehörigen Sternen, wo das freie Auge nur einen einzigen Stern zu sehen glaubt. Bei mehreren dieser Doppelgestirne, deren Zahl jetzt schon über sechstausend hinausgeht, ist es gelungen, auch die Umlaufszeit der kleineren zu berechnen; diese Zeit stellt sich für einen kleinen Stern im grossen Bären auf 60 Jahre,

der Jungfrau auf 513 und bei γ im Löwen sogar auf 1200 Jahre.

Ein besonderes Interesse gewähren die Doppelsterne durch die grosse Mannigfaltigkeit ihrer Farben, so dass J. Herschel von einer Gruppe im „südlichen Kreuze“ sagt, sie gleiche in ihrer Farbenpracht einem herrlichen Schmuck der schönsten Juwelen. Während man unter den einfachen Sternen gewöhnlich nur solche sieht, die in einem weissen, zuweilen in mehr oder weniger gelblichem, selten in rothem Lichte glänzen, ist bei den Doppelsternen der grössere oder der Centralstern meist weiss, wogegen der ihn umkreisende oder begleitende Satellit in den allermeisten Fällen blau oder grün, oder auch wohl roth erscheint.

Man hat sich schon lange mit der Frage beschäftigt, woher diese Farben stammen. Man hat sie für complementäre Farben gehalten und geglaubt, sie seien den Sternen nicht eigenthümlich, sondern rührten von einer optischen Illusion unseres Sehorgans her, wie Derjenige eine weisse Wand voll violetter Flecken zu sehen glaubt, der kurz vorher das Auge gegen die Sonne gerichtet hat. Allein die einfache Bedeckung des Centralsterns im Fernrohre genügt, um diese Ansicht zu widerlegen; der kleine Stern ändert seine Farbe durchaus nicht, auch wenn er abgesondert von dem Lichte des andern im Fernrohre allein betrachtet wird. Zöllner, dem wir eine meisterhafte Arbeit über das Licht und die physische Beschaffenheit der Himmelskörper verdanken, hat zuerst den Gedanken ausgesprochen, dass alle uns bekannten Körper vom glühenden in den nicht glühenden Zustand durch das Stadium der Rothgluth übergehen, und dass demgemäss auch die

Fixsterne in ihrer fortschreitenden Entwickelung aus dem glühend-gasförmigen Zustande durch die Periode des glühend-flüssigen Zustandes und der nachfolgenden Schlackenbildung oder der allmählichen Entwickelung einer kalten, nicht leuchtenden Oberfläche neben der allmählichen Abnahme des Lichtes zugleich auch eine Färbenveränderung erleiden müssen. Für sehr viele farbige, inbesondere für die sogenannten neuen Sterne, die ihre Farbe von Weiss zu Gelb und zu Roth hinab verändern, hat die Ansicht Zöllner's einen hohen Grad der Wahrscheinlichkeit; dass aber auch noch andere Umstände auf die Farbe der Sterne von Einfluss sein müssen, beweist die bei einigen Sternen eintretende Farbenveränderung in der entgegengesetzten Richtung der Farbenscala, vom Roth zum Weiss, wie es u. A. für den Sirius, der den Alten als rother Stern erschien und jetzt als Typus der weissen Sterne angesehen wird, oder auch für Capella, der früher roth war und jetzt blassblau erscheint, bestimmt nachgewiesen ist. Huggins und Miller haben vermittelst des Spectroskops erkannt, dass die Farbe eines Sternes ausser von dem Grade des Glühens seines feurig-flüssigen Kerns auch noch von der Absorptionsfähigkeit seiner Atmosphäre für die von dem glühenden Kerne ausgesandten Strahlen abhängig ist.

Da die Quelle des Sternenlichtes, sagt Huggins, eine feste oder flüssige weissglühende Materie ist (Kirchhoff), so erscheint es sehr wahrscheinlich, dass in dem Augenblicke der Ausstrahlung das Licht aller Sterne gleichmässig weiss ist. Die Farben, in welchen wir sie erblicken, müssen daher einige Aenderungen, welche das Licht erst

nach seiner Ausstrahlung erlitten hat, zur Ursache haben. Es ist ferner klar, dass, wenn die dunkeln Absorptionslinien von einer gewissen Stelle des Spectrums zahlreicher oder stärker auftreten als an den übrigen, die jener Stelle eigenthümliche Farbe abgeschwächt und jedenfalls relativ schwächer erscheinen muss, als die Farben der anderen Spectralstellen, wo solche Absorptionslinien minder zahlreich vorhanden sind. Während auf diese Weise gewisse Farbentöne aus dem Spectrum theilweise ausgelöscht werden, herrschen die übrigen unverändert gebliebenen Farben vor und verleihen dem ursprünglich weissen Lichte des Sterns den ihnen eigenen Farbenton.

In Fig. 113 ist das Spectrum des Sirius, der als einer der schönsten weissen Sterne allgemein bekannt ist, abgebildet. Wie zu erwarten ist, sind die Spectra dieser Sterne frei von Gruppen intensiver Absorptionsstreifen. Die dunkeln Linien, welche das farbige Spectrum durchziehen, obwohl sehr zahlreich, sind deshalb, mit einer einzigen Ausnahme, über sämmtliche Farben gleichmässig vertheilt, und dazu sehr fein und zu schwach, um die ursprüngliche Weisse des Lichtes verändern zu können. Die alleinige Ausnahme besteht in vier einfachen, starken, dunklen Linien, von denen die eine der Frauenhofer'schen Linie *C*, die andere *F* entspricht, die dritte sehr nahe bei *G* liegt. Zwei von ihnen und sehr wahrscheinlich auch diese dritte Linie zeigen, wie wir bereits gesagt haben, mit Sicherheit die Anwesenheit von Wasserstoff an.

Vergleichen wir nun mit diesem Bilde das Spectrum eines orangefarbenen Sternes, und zwar nach der Photographie von Huggins, des grössten der beiden Sterne,

aus welchen das Doppelgestirn α Herculis zusammengesetzt ist (Fig. 114). Der Unterschied zwischen diesem Spectrum und dem des Sirius tritt auf den ersten Blick hervor. In dem Spectrum dieses Sterns sind die Farben des Grün, des Blau und ebenso des Roth durch Gruppen intensiv dunkeler Streifen abgeschwächt, während das Orange und das Gelb ihre ursprüngliche Intensität fast ganz behalten haben und daher in dem Lichte dieses Sterns vorwalten.

Mit gleichem Erfolge haben Huggins und Miller

Fig. 114.

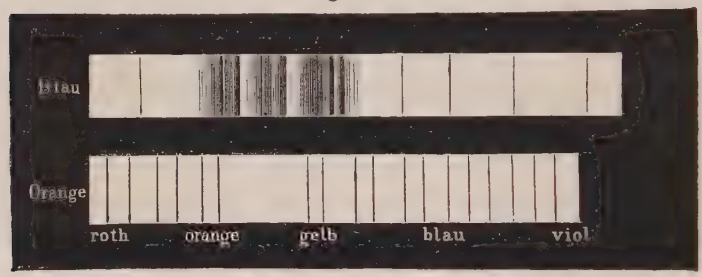
Spectrum des Sternes A von α Herculis.

nach Ueberwindung mancher Schwierigkeiten die Spectra einiger schwacher teleskopischer Doppelsterne beobachtet. Fig. 115 zeigt die beiden Spectra des wohlbekannten Doppelsterns β Cygni (im Schwan). In einem grossen Fernrohre contrastiren die Farben dieser beiden Sterne auf sehr angenehme Art. Das untere Spectrum ist das des orangefarbenen, das obere das seines schwachen, aber schönen blauen Begleiters. Bei dem orangefarbenen Stern bemerkt man die dunkeln Linien viel intensiver und dichter aneinandergedrängt im blauen und violetten Theile des Spectrums; die Orangefarbe, verhältnissmässig weniger von diesen Streifen durchzogen, ist daher vorherrschend. Für

den zart blau gefärbten Begleiter finden sich die Gruppen der stärksten dunkeln Streifen im Gelb, im Orange und theilweise im Roth. Es ist daher natürlich, dass in dem Lichte dieses Sternes die blaue Farbe vorherrscht und wir ihn in der Mischung derjenigen Farben sehen, welche nach Absorption der genannten Strahlen aus dem weissen Lichte noch übrig bleiben.

Die Farben der Sterne werden also wirklich durch die Dämpfe gewisser Stoffe, die in ihren Atmosphären ent-

Fig. 115.



Spectra des Doppelsterns β Cygni (im Schwan).

halten sind, hervorgebracht, und da die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre eines Sternes von den Elementen, welche den Stern selbst zusammensetzen, und von der Temperatur desselben abhängt, so würde man die Hauptbestandtheile dieser kleinen teleskopischen Welten bestimmen können, wenn es gelänge, die Lage der dunkeln Absorptionslinien mit Sicherheit zu bestimmen oder diese Linien mit den Spectrallinien der irdischen Stoffe zu vergleichen.

56. Veränderliche Sterne.

Unter den Fixsternen giebt es mehrere, die von Zeit zu Zeit ihren Glanz und ihre Helligkeit im Vergleiche zu den benachbarten Sternen ändern, die an Licht zu- oder abnehmen und sogar von dem Glanze eines Sternes erster Grösse bis zur völligen Unsichtbarkeit herabsinken. Bei Einigen erfolgt diese Veränderung der Helligkeit in beständiger, sehr langsamer und regelmässiger Abnahme; bei anderen zeigt sich eine fast plötzliche Zunahme und Abnahme des Lichtes, und wieder bei anderen geht der Wechsel der Helligkeit in der Zu- und Abnahme des Lichtes innerhalb regelmässig wiederkehrender Perioden vor sich. Die Periode der Veränderlichkeit ist dann die Zeit, welche zwischen zwei aufeinander folgenden grössten Helligkeiten verfliesst. Welche Verschiedenheit die veränderlichen Sterne dieser letzteren Art darbieten, zeigt diese Tabelle:

Stern.	Wechsel der Helligkeit von	bis	Periode der Veränderlichkeit.
η Argus	1. Grösse	4. Grösse	46 Jahre.
R Cepheus	5. „	11. „	73 „
R Cassiopeae	6. „	unter 14. „	435 Tage.
O (Mira) Ceti	1. od. 2. Gr.	„ 12. „	331 „
S Cancri	8. Grösse	$10^1/_2$. „	10 „
β Persei	$2^1/_2$ „	4. „	$2^9/_{10}$ „

Unter allen Veränderlichen bietet Mira Ceti (der Wunderbare Stern im Walfische) das grösste Interesse, weil er im Maximum seiner Helligkeit den Glanz

eines Sterns erster oder zweiter Grösse erreicht. Nicht minder interessant ist β Persei; im Glanze eines Sterns zweiter Grösse strahlt er 2 Tage $13^1/_2$ Stunden, dann verliert er fast plötzlich sein Licht und sinkt in $3^1/_2$ Stunden bis zur vierten Grösse herab; seine Helligkeit nimmt dann wieder zu und in einer andern Periode von $3^1/_2$ Stunden erreicht er wieder seinen ersten Glanz. Alle diese Veränderungen gehen in regelmässiger Wiederkehr in weniger als drei Tagen vor sich, wobei der Stern stets für das unbewaffnete Auge sichtbar bleibt.

Woher rührt diese Veränderlichkeit im Lichte des Sterns? Zöllner erklärt sie mit grossem Scharfsinn und gestützt auf zahlreiche Messungen der Lichtstärken auf eine einfache und ungezwungene Weise aus der Gestalt und der Anordnung von dunkeln Schlackenmassen, die sich auf der Oberfläche des in einer vorgeschrittenen Abkühlung begriffenen, feurig-flüssigen Sterns bilden, und die in Folge der Rotation des Sterns um seine Axe und der daraus erwachsenden Centrifugalkraft, erratischen Felsblöcken ähnlich, bestimmte Strömungen auf der Oberfläche des Sterns annehmen müssen, wie dieses mit den schwimmenden Eisschollen auf unserer Erde der Fall ist. Zufolge dieser eigenthümlichen Bewegungsverhältnisse müssen die dunkeln Schlackenmassen sich in ganz bestimmten Anordnungen ablagern und dadurch auf der Oberfläche des Sternes eine ungleiche Vertheilung von feurig-flüssiger leuchtender und nicht leuchtender Schlacken-Materie hervorbringen. Wenn diese Vertheilung eine ungefähre Gestalt hätte, wie Zöllner sie in Fig. 116 gezeichnet hat, so dass die weiss gezeichnete leuchtende flüssige Masse sich in der

Richtung der Pfeile *a*, *b* der Rotation des Sterns um seine Achse entgegen nach Art der Polarströme auf unserer Erde sich bewegt und gegen die dunkle Schlackenmasse festgestaut hätte, so würde der Wechsel in der Helligkeit des Lichtes, welches von diesem Sterne zu uns kommt, sowie die Periodicität desselben während seiner Achsendrehung sich wenigstens für manche Fälle leicht erklären lassen. Andere (Stewart, Klinkerfues) nehmen dagegen

Fig. 116.

Die Veränderlichkeit eines Sterns nach Zöllner.

an, dass die Veränderlichen sehr nahe beisammen stehende Doppelsterne sind, und dass der umkreisende Stern, möge er ein dunkler Körper oder eine noch weiss glühende gasförmige oder feurig-flüssige Masse sein, bei seinem Vorübergange vor dem umkreisten Sterne auf diesem theilweise Bedeckungen, Verfinsterungen oder auch atmosphärische Lichtabsorptionen hervorrufe, wie wir dieses auch in unserem Planetensysteme vielfach zu beobachten Gelegenheit haben.

Diesen verschiedenen Ansichten gegenüber ist es lehrreich zu erfahren, welche Aufschlüsse die bis jetzt erlangten Resultate der Spectralanalyse gegeben haben. Wenn der periodische Wechsel in der Helligkeit eines Sterns aus einer Aenderung seiner physischen Constitution, oder auch aus dem Vortreten eines dunkeln und undurchsichtigen Körpers herrührt, oder wenn es zutrifft, dass der vortretende Körper überhaupt, mag er dunkel oder leuchtend sein, von einer absorbirenden Atmosphäre umgeben ist, so wird sich das in einer Aenderung des Spectrums überhaupt, oder doch wenigstens in dem Hinzukommen einiger neuer Absorptionslinien zu demjenigen Spectrum offenbaren, welches zur Zeit der geringsten Helligkeit beobachtet worden ist.

Secchi, Huggins und Miller haben sich mit Untersuchungen dieser Art mehrfach beschäftigt und Letzterer insbesondere hat gefunden, dass in dem Spectrum von Beteigeuze (α Orionis), Fig. 111, im Februar 1866, wo der Stern im Maximum seiner Helligkeit war, die Gruppe von dunkeln Streifen fehlte, deren genauere Lage zwei Jahre vorher mit der grössten Sorgfalt bestimmt war (in der Fig. 111 bei Nro. 1069,5 der Scala durch eine starke Linie begrenzt). Auch Secchi hat an einer dunkeln Linie desselben Sterns während seines Helligkeitswechsels Veränderungen wahrgenommen; doch stehen diese Beobachtungen noch zu vereinzelt, um daraus Schlüsse ziehen und entscheidende Momente für die Richtigkeit der einen oder der anderen der vorhin angedeuteten Hypothesen ableiten zu können.

Secchi hat in der neuesten Zeit gefunden, dass das

dem Kerne eines Sonnenflecks zugehörige Spectrum (Fig. 75) mit dem Spectrum mehrerer rother Sterne, namentlich des α Orionis, Antares, Aldebaran, O im Walfisch u. s. w. eine grosse Aehnlichkeit hat. Eine Reihe von dunkeln Banden und Streifen, wie sie in dem unter Fig. 111 abgebildeten Spectrum des α Orionis eingezeichnet sind, zeigen sich gleichmässig in dem Spectrum der Sonnenflecke, wie in den Spectren der genannten rothen Sterne, was zu der Vermuthung führt, dass die rothe Farbe dieser Sterne aus derselben Ursache herrührt, welche die Absorptionsstreifen in dem Spectrum der Sonnenflecke erzeugt. Da alle diese Sterne zu den veränderlichen gehören, so ist es nicht unwahrscheinlich, dass auf ihnen Flecke vorkommen, deren Erscheinen einer gewissen Periodicität unterliegt, wie dieses für die Sonnenflecke ebenfalls nachgewiesen ist. Die Periode des Lichtwechsels wird dann für solche Sterne mit der Periode der Fleckenbildung zusammenhängen, wie auch unsere Sonne als ein veränderlicher Stern erscheint, auf welchem die Periode des Lichtwechsels mit dem periodischen Erscheinen der Sonnenflecke zusammenfällt.

57. Neue oder temporäre Sterne.

Zu den veränderlichen Sternen müssen auch jene gerechnet werden, welche von Zeit zu Zeit, aber immer nur in sehr langen Intervallen, plötzlich am Himmel aufflammen, dann aber in mehr oder weniger langer Zeit wieder verschwinden, und die durch die Seltenheit ihrer Erscheinung, wie durch die gewaltige Revolution im Weltenraume, die sie ankündigen, immer das grösste Interesse und das

allgemeinste Erstaunen erregen. Nach einer Zusammenstellung von A. v. Humboldt lassen sich seit 134 v. Chr. bis 1848 n. Chr., also in einem Zeitraume von ungefähr 2000 Jahren nur einundzwanzig solche Ereignisse verzeichnen, von denen die berühmtesten sind der Stern in der Cassiopea von Tycho de Brahe (1572), der an Glanz den Sirius und den Jupiter übertraf und mit Venus verglichen werden konnte, aber nach siebzehn Monaten für das blosse Auge spurlos verschwand;* sowie der von Kepler (1604) im Schlangenkörper beobachtete Stern, der an Glanz ebenfalls den Jupiter, nicht aber die Venus übertraf und nach fünfzehn Monaten nur noch mit dem Teleskope beobachtet werden konnte. Zwei solcher Sterne aus der neueren Zeit, der von Hind im Jahre 1845 gesehene und der im Jahre 1865 in der Krone beobachtete glänzende Stern sind, nachdem sie ihren ausserordentlichen Glanz längst abgelegt haben, auf Sterne zehnter und neunter Grösse herabgesunken. Eine charakteristische Eigenthümlichkeit dieser temporären Sterne ist die, dass fast alle mit einer ungeheuren Lichtstärke als Sterne erster Grösse und selbst stärker funkelnd als diese auflodern, und dass man sie, wenigstens nicht für das blosse Auge, nicht allmählich an Helligkeit zunehmen sieht.

Sind nun diese sogenannten neuen Sterne wirklich neue Schöpfungen, wie Tycho glaubte, und sind die unsichtbar gewordenen wirklich vernichtet oder ausgebrannt? Oder sollen wir mit Riccioli annehmen, dass diese Himmelskörper bloss auf einer Seite glänzen, welche vom Schöpfer zur

* Das Fernrohr wurde erst siebenunddreissig Jahre später erfunden.

geeigneten Zeit durch eine plötzliche halbe Umdrehung uns zugewandt werde? Die erste Annahme wird durch die Beobachtung späterer Zeit widerlegt, welche durch die Sternkarten nachweist, dass genau an dem Orte, an welchem der neue Stern plötzlich aufloderte, bereits ein Stern von sehr geringem Glanze sich befand; die andere Ansicht aber ist zu albern, als dass sie heute noch eine nähere Berücksichtigung verdiente. Der von Tycho beobachtete Stern ist ebenso wenig verschwunden als der Kepler'sche; nach Argelander befindet sich der erstere in der Position: Epoche 1865: Rectascension $4^h\ 19^m\ 57^s{,}7$; Nördliche Declination $63^0\ 23'\ 55''$; nach Schönfeld ist der Ort des zweiten: Epoche 1855: Rectascension $17^h\ 21^m\ 57^s$ mit der jährlichen Aenderung von $+\ 3^s{,}586$, Südliche Declination $21^0\ 21'\ 2''$ mit der jährlichen Aenderung von $-\ 0^s{,}055$. Wenn daher durch das plötzliche Aufflammen eines Sterns am Himmel nicht das Entstehen eines neuen Sterns, noch durch das allmähliche Verschwinden die völlige Vernichtung desselben angezeigt wird, so liegt die Vermuthung nahe, dass beide Erscheinungen die nacheinanderfolgenden Symptome des äusserst heftigen Ausbruches eines feurigen Phänomens sind, welches plötzlich auf dem Sterne, sei es in der Form einer Eruption des feurig-flüssigen Innern und seines Ergusses über die Oberfläche, oder einer Entzündung von kolossalen aus dem Innern des Sterns durchbrechenden Gasmassen, eintritt. Während ein solches Ereigniss den Stern selbst auf einige Zeit in das äusserste Glühen und das intensivste Leuchten versetzen kann, wird dem Ende dieses Brandes die Abkühlung des Sterns mehr oder weniger schnell nachfolgen und damit der Glanz und die Helligkeit

in rascher Progression und unter Umständen bis zum völligen Verschwinden abnehmen.

Es hat sich glücklich getroffen, dass ein solches Ereigniss in der neuesten Zeit eingetreten ist, wo die Spectralanalyse in ihrer Anwendung auf den gestirnten Himmel schon einen hohen Grad der Ausbildung erlangt hat. In der Nacht vom 12. Mai 1866 bemerkte John Birmingham in Tuam (Irland) einen neuen, sehr glänzenden Stern, heller als die Sterne zweiter Grösse, in dem Sternbilde der Corona borealis. In der folgenden Nacht wurde derselbe auch von dem französischen Ingenieur Courbebaisse in Rochefort und einige Stunden vorher von dem Astronomen Julius Schmidt in Athen beobachtet, der ausdrücklich erklärt, dass in der Nacht des 12. Mai der neue Stern nicht vor 11 Uhr sichtbar gewesen sein könne, weil er mit dem Sucher nach dem Stern R in der Krone gesehen und lange in dieser Gegend sich nach Meteoren umgesehen habe, folglich der neue Stern, wenn er bereits sichtbar gewesen, jedenfalls seine Aufmerksamkeit erregt haben müsse. In derselben Nacht des 13. Mai nahm die Helligkeit zusehends ab und am 16. Mai war der Stern nur noch von der vierten Grösse. Seine Abnahme erfolgte nun ziemlich schnell; am 17. Mai war er von der $4{,}9^{\text{ten}}$, am 18. Mai von der $5{,}3^{\text{ten}}$, am 19. Mai von der $5{,}7^{\text{ten}}$, am 20. Mai von der $6{,}2^{\text{ten}}$ Grösse und am Ende des Monates war er fast bis auf die neunte Grösse herabgesunken.

Dass der Stern nicht neu war, zeigte Schmidt durch den Hinweis auf Argelander's „Durchmusterung des nördlichen Himmels," woselbst sich der Stern unter Nr. 2765 in + 25 Grad Declination verzeichnet findet. Ar-

gelander hat denselben am 18. Mai 1855 und am 31. März 1856 beobachtet und seine Lichtstärke beidemal gleich gross, nämlich von der neunten bis zehnten Grösse gefunden.*

Der erste Beobachter, Birmingham, benachrichtigte am 14. Mai Huggins von seiner Entdeckung, und so wurde letzterer in den Stand gesetzt, von dem 15. Mai an in Gemeinschaft mit Miller das Spectrum dieses Sterns zu untersuchen, als er noch nicht viel unter die dritte

Fig. 117.

Spectrum des temporären Sterns *T* Coronae borealis. (15. Mai 1866.)

Grösse herabgesunken war. Das Ergebniss dieser Untersuchungen war folgendes:

Das Spectrum des Sterns war sehr merkwürdig und gab deutlich zu erkennen, dass das Licht des Sterns zusammengesetzt war und aus zwei verschiedenen Quellen stammte, deren jede für sich ein besonderes Spectrum gab. Das Gesammtspectrum, Fig. 117, zeigte sich nämlich aus zwei von einander unabhängigen und sich überdeckenden

* Banker aus London in Canada, welcher in der Canadian Free Press anzeigte, dass er am 14. Mai einen neuen Stern in der Krone beobachtet habe, behauptet weiter in einem an Hind gerichteten Briefe, dass er diesen Stern seit dem 4. Mai gesehen habe und dass derselbe bis zum 10. Mai immer glänzender geworden sei, von da ab aber sein Glanz fortwährend abgenommen habe.

Spectren zusammengesetzt; man erkennt darin zunächst ein continuirliches, von dunkeln Linien durchzogenes Spectrum, wie es die Sonne und die übrigen Sterne liefern; ausserdem aber ist noch ein zweites, aus vier hellen Linien bestehendes Spectrum vorhanden, die sich wegen ihrer Breite und Helligkeit auf dem dunkeln Hintergrunde des ersteren Spectrums deutlich abzeichnen.

Das von dunkeln Linien durchzogene Hauptspectrum bekundet das Vorhandensein einer Photosphäre von weissglühender, höchst wahrscheinlich fester oder flüssiger Materie, welche von einer Atmosphäre kälterer und durch Absorption die dunkeln Linien hervorrufender Dämpfe umgeben ist. Dieses Absorptionsspectrum enthält zwei starke dunkle Streifen von etwas geringerer Brechbarkeit als die Linie *D* im Sonnenspectrum; eine schattige Gruppe erstreckt sich bis in die Nähe von *D* und eine feine Linie fällt mit *D* zusammen. Bis zu diesem Punkte ist die Constitution dieses Sterns der der Sonne und der Sterne analog. Aber der Stern hat noch ein zweites, aus hellen Linien bestehendes Spectrum, welches das Vorhandensein einer zweiten Lichtquelle anzeigt und zwar nach der Natur dieses Spectrums (S. 103) das Licht eines glühenden, intensiv leuchtenden Gases.

Als Huggins am 17. Mai das Spectrum des Sterns gleichzeitig mit dem Spectrum des Wasserstoffgases, welches durch eine Geissler'sche Röhre mittelst des Inductionsfunkens erzeugt wurde, verglich, fiel die breiteste Linie 2 in dem Spectrum des Sterns mit der ausgedehnten grünblauen Linie (*Hβ*, Farbentafel 7) des Wasserstoffgases zusammen. Augenscheinlich coincidirte auch die im Roth

befindliche Linie 1 mit der des Wasserstoffs *Hα*; jedoch konnte wegen der Feinheit der Linie dieses Zusammenfallen nicht mit vollständiger Sicherheit nachgewiesen werden. Der grosse Glanz dieser Linien beweist, dass das leuchtende Gas heisser war, als die Photosphäre des Sterns.

Diese Thatsachen, in Verbindung mit der Plötzlichkeit des Lichtausbruches auf dem Sterne und der unmittelbar darauf folgenden raschen Abnahme des Lichtes von der zweiten auf die achte Grösse, führen zu der bereits in früheren Zeiten ausgesprochenen Hypothese, dass sich auf dem Sterne in Folge einer inneren Katastrophe eine ausserordentliche Menge von Wasserstoffgas und anderen Gasen entwickelt habe, welches an der Oberfläche bei seiner Verbindung mit einem anderen Elemente verbrannte und so das Gestirn plötzlich in die gewaltigsten Flammen einhüllte. Das entzündete Wasserstoffgas erzeugte bei der Verbrennung mit irgend einem andern Elemente das Licht, welches durch die beiden breiten hellen Streifen im Roth und Grün charakterisirt wurde; die ausserdem beobachteten hellen Linien, in denen man Sauerstofflinien vermuthen konnte, fielen indessen nicht mit den charakteristischen Linien dieses Gases zusammen. Das verbrennende Wasserstoffgas musste wohl auch die feste Materie der Photosphäre ungewöhnlich stark erhitzt und zu einem intensiveren Glühen und Leuchten gebracht haben, woher es sich erklärt, dass der früher nur wenig leuchtende Stern plötzlich in einem so grossen Glanze erscheinen konnte. Als das entwickelte Wasserstoffgas verzehrt war, nahm die Flamme allmählich ab; mit der nachfolgenden Abkühlung wurde die Photosphäre immer we-

niger leuchtend und der Stern kam zu seinem früheren Zustande zurück.

Rayet und Wolff, welche den Stern am 20. Mai in seiner fünften bis sechsten Grösse mit einem grossen Telespectroskope untersuchten, bestätigten in ihrem an Leverrier erstatteten Berichte die Beobachtungen von Huggins und sprachen ihre Ansicht unabhängig von Letzterem dahin aus, dass der neue Stern seinen Glanz hauptsächlich verbrennenden Gasen verdanke. Dieser Glanz nahm übrigens, wie zu erwarten war, schneller ab, als das Licht der brennenden Gase; im Spectroskope sah man kaum noch Spuren des continuirlichen, von der Photosphäre gebildeten Spectrums, als die vier hellen Linien immer noch sehr brillant waren.

Wir dürfen nicht vergessen, dass das Licht zwar ein äusserst schneller Bote ist, doch aber eine gewisse Zeit gebraucht, um von einem Sterne bis zu uns zu kommen. Die Geschwindigkeit des Lichtes ist 42,000 geographische Meilen in der Secunde; die Entfernung des nächsten Fixsterns von uns (α Pegasi) beträgt gegen vier Billion Meilen, so dass das Licht für die Reise von diesem Sterne bis zu uns volle drei Jahre gebraucht. Die grosse physische Katastrophe, welche über den Stern in der Krone ausgebrochen ist, war daher im Jahre 1866, als wir sie gewahrten, für den Stern selbst ein längst vergangenes Ereigniss; ja sie fiel ohne Zweifel in eine Zeit, wo wir von der Spectralanalyse, die uns darüber Kunde gab, noch gar nichts wussten.

Secchi hat vor Kurzem bei der spectroskopischen Untersuchung des veränderlichen Sterns R der Zwillinge

gefunden, dass in dem Spectrum desselben die Wasserstofflinien, ganz wie in dem neuen Stern *T* der Krone, hell erscheinen. Ausserdem zeigt der Stern noch andere leuchtende Banden, deren bedeutendste mit den dunkeln Streifen in dem Spectrum von α Orionis zusammenfallen. Eine Gruppe dieser hellen Banden liegt im Grün (*b*) und rührt sehr wahrscheinlich von Magnesium her; die andere findet sich im Gelb und scheint die des Natriums (*D*) oder der neuen hellen Linie der Sonnenprotuberanzen (S. 272) zu sein. Die Beobachtungen wurden angestellt, als der Stern das Maximum seines Glanzes (etwas über siebente Grösse) erreicht hatte; das grosse Interesse, welches sich an diese Erscheinung und insbesondere an das Auftreten derselben hellen Linien, welche die Sonnenprotuberanzen charakterisiren, anknüpft, lässt hoffen, dass die Beobachtungen während der Periode der Veränderlichkeit, so lange die Lichtstärke es erlaubt, fortgesetzt werden.

58. Die Bewegung der Sterne im Weltenraume.

In §. 50 haben wir das Princip näher entwickelt, durch dessen Anwendung es der Spectralanalyse möglich ist, unter gewissen Umständen aus der Verschiebung der hellen oder dunkeln Spectrallinien eines Sterns zu erkennen, ob sich derselbe in der Richtung auf uns zu oder von uns ab bewegt, und die Geschwindigkeit zu bestimmen, mit welcher er im Weltenraume fortschreitet. Es ergab sich dabei, dass die Verschiebung einer seiner Spectrallinien nach dem Violett hin anzeigt, dass seine zur Erde gelangenden Lichtwellen unterwegs eine Verkürzung er-

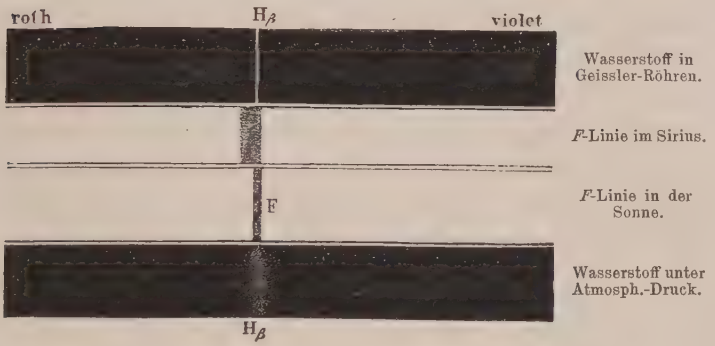
leiden und daher der Stern sich der Erde annähert; eine Verschiebung nach dem Roth hin lehrt dagegen, dass die Aetherwellen des Sterns sich verlängern und dieser sich von der Erde entfernt.

Secchi, der sich zuerst dieser Art von Beobachtungen unterzog, richtete sein Fernrohr auf den Sirius und stellte das Prisma des Spectroskops so, dass die dunkle Linie *F* mit dem directen Bilde des Sterns genau coincidirte; dann richtete er das Fernrohr auf einen andern Fixstern desselben Typus, in welchem ebenfalls die Linie *F* vorkam, und sah nach, ob auch hier dieselbe Coincidenz oder eine Verschiebung stattfand. Aber seine Instrumente erwiesen sich für so feine Untersuchungen nicht ausreichend und die gewonnenen Resultate waren nicht entscheidend.

Huggins, mit feineren Instrumenten und Messapparaten ausgestattet als Secchi, hat im vorigen Jahre ausführliche Untersuchungen über denselben Gegenstand angestellt. Er stellte zunächst durch eine Reihe von vorbereitenden Beobachtungen fest, dass eine stark dunkele Linie in dem Spectrum des Sirius (Fig. 113) die mit $H\beta$ (Fig. 40) bezeichnete Wasserstofflinie sei. Zu diesem Zwecke verglich er auf die bekannte Weise diese Siriuslinie der Reihe nach mit der Linie $H\beta$ des Wasserstoffspectrums einer Geissler'schen Röhre, der Fraunhofer'schen Linie *F* des Sonnenspectrums und der Linie $H\beta$ des Wasserstoffs unter dem atmosphärischen Druck. Die Fig. 118 zeigt, welche Lage die drei letzteren Linien bei unverändert gehaltenem Instrumente zu einander und zu der Siriuslinie einnahmen. Während die Vergleichslinien genau coincidiren, findet sich die Siriuslinie etwas

nach dem Roth verschoben. Da sie aber zugleich breiter erscheint, als die helle Wasserstofflinie $H\beta$, wie es bei dieser Linie unter höherem Druck sehr oft vorkommt, so handelte es sich noch darum, festzustellen, ob die Ausbreitung der Wasserstofflinie $H\beta$ unter den verschiedenen Graden des Druckes auch wohl bloss nach einer Seite hin oder jedesmal nach beiden Seiten vor sich gehe. Im ersteren Falle durfte die Lage der Siriuslinie offenbar

Fig. 118.



Verschiebung der *F*-Linie im Siriusspectrum.

nicht als eine Verschiebung, sondern bloss als eine einseitig geschehene Ausbreitung angesehen werden; im letzteren Falle aber hätte die helle Linie $H\beta$ genau auf die Mitte der breiten Siriuslinie fallen müssen, wenn bloss eine Ausbreitung, und nicht zugleich eine Verschiebung stattgefunden hätte. Huggins fand nun, in Uebereinstimmung mit den Untersuchungen von Lockyer und Frankland, dass, wenn die Wasserstofflinie $H\beta$ bei einer grösseren Dichtigkeit dieses Gases sich seitlich ausbreitet, diese Erbreiterung stets

nach beiden Seiten erfolgt und die Mitte dieser Linie ihre feste Lage beibehält. Es ist wahrscheinlich, dass auf dem Sirius aus gleicher Ursache eine Ausdehnung dieser Linie stattfindet, aber zugleich nicht wohl zweifelhaft, dass diese ganze Linie eine Verschiebung gegen dieselbe terrestrische Wasserstofflinie nach dem Roth hin erleidet.

Huggins hat diese Verschiebung sehr sorgfältig gemessen und gefunden, dass zu der Zeit der Beobachtung die Verminderung der Brechbarkeit des dieser Spectralstelle entsprechenden Siriuslichtes 0,109 Milliontel eines Millimeter beträgt. Nimmt man nun die Geschwindigkeit des Lichtes zu 185000 englischen Meilen in der Secunde und die Wellenlänge des Lichtes an der Stelle *F* zu 486,50 Milliontel Millimeter, so wird durch die angeführte Verschiebung der beobachteten Siriuslinie eine Entfernung des Sirius von der Erde angezeigt, welche mit einer Geschwindigkeit von $\frac{185000 \times 0{,}109}{486{,}50}$ oder 41,4 englischen Meilen in der Secunde vor sich geht.

An der Grösse dieser Geschwindigkeit hat offenbar die Erde ihren Antheil. Bei dem jährlichen Umlaufe um die Sonne ändert dieselbe jeden Augenblick ihre Richtung und kommt jährlich in zwei Punkte ihrer Bahn, die um 180 Grad von einander abstehen, und in denen die Richtung der Bewegung mit der Sehlinie des Sirius zusammenfällt. In dem einen Punkte bewegt sich die Erde gerade nach diesem Sterne hin, und nähert sich ihm, in dem andern entfernt sie sich von ihm. In den beiden andern, um 90 Grad von diesen Punkten, entfernten Bahnorten bewegt sich die Erde unter einem rechten Winkel gegen

die Sehlinie des Sterns und hat dann keinen Einfluss auf die Brechbarkeit seiner Strahlen.

Zur Zeit der von Huggins gemachten Beobachtung der Siriuslinie bewegte sich die Erde in ihrer Bahn mit einer Geschwindigkeit von 12 englischen Meilen in der Secunde von dem Sterne weg; es bleibt daher für die eigene Bewegung des Sirius noch eine Bewegung von 29,4 englischen Meilen übrig, mit welcher er sich von der Erde entfernt.

Aehnliche Beobachtungen wie am Sirius hat Huggins noch mit α Canis Minoris, Castor, Beteigeuze, Aldebaran und einigen anderen glänzenden Sternen angestellt; aber mit Rücksicht auf die ungemein grosse Feinheit der Untersuchungen und die in England nur selten vorhandene genügende Reinheit des Sternenhimmels gedenkt dieser ausgezeichnete Astronom die Beobachtungen einer nochmaligen Revision zu unterziehen, bevor er dieselben veröffentlicht.

Wenn man bedenkt, dass durch die Anwendung mehrerer Prismen, wie sie für eine hinreichende Verlängerung des Sternspectrums unvermeidlich sind, das Licht stark abgeschwächt wird und eine genaue Vergleichung der dunkeln Linien des Sternspectrums mit den hellen der irdischen Stoffe sehr schwierig ist, wenn man ferner beachtet, dass manche dunkle Linien der Sternspectra an den Rändern nicht scharf begrenzt sind und gerade die *F*-Linie im Siriusspectrum zuweilen etwas verwaschen und von verschiedener Breite erscheint, so darf man den vorstehenden Resultaten der Beobachtung und der Messung nur bedingungsweise Vertrauen schenken, wie denn auch Huggins

selbst zugesteht, dass dieselben wohl noch mit einer grossen Unsicherheit behaftet sein mögen.

In richtiger Erkenntniss der grossen Schwierigkeiten, welche mit der Messung so äusserst geringer Linienverschiebungen, wie sie in den Sternspectren möglicherweise vorkommen, verbunden sind, hat Zöllner sich bemüht, dem Spectroskope eine Einrichtung zu geben, um die Grösse dieser Verschiebungen zu verdoppeln, ohne damit zugleich die Helligkeit des Spectrums zu vermindern.

Die Einrichtung dieses neuen, von Zöllner „Reversionsspectroskop“* genannten Instrumentes ist folgende. Die durch einen Spalt oder eine Cylinderlinse erzeugte Lichtlinie befindet sich im Brennpunkte einer Linse, welche, wie bei allen Spectroskopen, die zu zerstreuenden Strahlen zunächst parallel macht. Alsdann passiren die Strahlen zwei Amici'sche Prismensysteme à vision directe, welche dergestalt nebeneinander befestigt sind, dass die wagerecht liegenden brechenden Kanten auf entgegengesetzten Seiten sich befinden und jedes die eine Hälfte des aus dem Collimatorobjective tretenden Strahlenbündels hindurchlässt, folglich die gesammte Strahlenmasse in zwei Spectra von entgegengesetzter Richtung zerlegt wird. Das Objectiv des Beobachtungsfernrohres, welches die Strahlen wieder zu einem Bilde vereinigt, ist senkrecht zu den horizontal liegenden brechenden Kanten der Prismen zerschnitten, und jede der beiden Hälften lässt sich sowohl parallel der Schnittlinie, als auch senkrecht zu derselben mikrometrisch

* Ueber ein neues Spectroskop, nebst Beiträgen zur Spectralanalyse der Gestirne, von J. C. F. Zöllner. (Berichte der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig vom 6. Febr. 1869.)

bewegen. Hierdurch ist man im Stande, sowohl die Linien des einen Spectrums nach und nach mit denen des andern zur Coincidenz zu bringen, als auch die beiden Spectra nach Willkür unmittelbar neben einander zu lagern, so dass sich das eine wie ein Nonius neben dem andern verschiebt, oder auch theilweise über einander zu bringen. Durch diese Construction ist nicht allein das empfindliche Princip der doppelten Bilder zur Bestimmung irgend welcher Lagenveränderung der Spectrallinien verwerthet, sondern jede solche Veränderung ist auch verdoppelt, indem sich der Einfluss derselben bei jedem Spectrum im entgegengesetzten Sinne äussert.

Zöllner konnte mit dem Reversionsspectroskope den Abstand der beiden *D*-Linien im Sonnenspectrum mit einem wahrscheinlichen Fehler von nur $^1/_{226}$ dieser Grösse genau bestimmen. Nach dem oben Mitgetheilten wird aber, wenn sich der Abstand zwischen einer Lichtquelle und dem Beobachter mit einer Geschwindigkeit von vier geographischen Meilen in der Secunde (der mittleren Geschwindigkeit der Erde) verändert, dieses in dem Zöllnerschen Instrumente eine gegenseitige Verschiebung der Linien beider Spectra von nur $^1/_5$ jenes Abstandes der *D*-Linien zur Folge haben, eine Grösse, welche etwa vierzigmal grösser ist, als der angegebene wahrscheinliche Fehler beträgt.

Das Reversionsspectroskop von Zöllner gewährt indessen nicht bloss Aussicht, die noch bestehenden Zweifel rücksichtlich der Verschiebung der dunkeln Linien der Sternspectra und der Bewegungen der Himmelskörper zu heben, sondern auch, wie Zöllner näher ausgeführt hat,

nähere Resultate über die Rotationsgeschwindigkeit der Sonne zu gewinnen und die sämmtlichen Linien des Sonnenspectrums, welche durch Absorption in der Erdatmosphäre entstanden sind, von denjenigen zu trennen, welche der Sonne selbst ihren Ursprung verdanken, da offenbar nur die letzteren eine solche Verschiebung erleiden können.

59. Spectra der Nebelflecke und Sternhaufen.

Wir betreten nunmehr die entlegensten Tiefen des Universums, die nur für die stärksten Teleskope zugänglich sind, die Regionen der Sternhaufen und der Nebelflecke. Wenn wir mit einem Fernrohre von nur mässiger Vergrösserung den nächtlichen Himmel anschauen, so hebt sich eine grosse Zahl von Sternhaufen und schwach leuchtenden Nebelgewölken von dem dunkeln Himmelsgewölbe ab, welche man auf den ersten Blick für vorübergehende Wolkengebilde halten könnte, die aber durch die Beständigkeit in der Gestalt und der Dauer ihrer Erscheinung uns bald die Gewissheit verschaffen, dass wir es mit Himmelskörpern eigener Art, die sich von den punktähnlichen Bildern der gewöhnlichen Sterne unterscheiden, zu thun haben. William Herschel konnte mit seinem vierzigfüssigen Riesenteleskope sehr viele dieser Nebel in Sternhaufen auflösen; diese Gebilde sind gewaltige Gruppen von einzelnen Sonnen, in denen man Tausende von Fixsternen scharf von einander getrennt unterscheiden und zählen kann, die aber so weit von uns entfernt sind, dass wir ihre Abstände von einander, wenn sie auch viele Millionen Meilen betragen, nicht mehr wahrnehmen können und

dass ihr Licht für schwächere Vergrösserungen von einer einzigen, grossen, matt leuchtenden Masse herzukommen scheint. Aber nicht alle Nebel liessen sich durch dieses Teleskop auflösen, und in demselben Maasse, als solche Nebel sich als Sternhaufen zu erkennen gaben, zeigten sich zugleich wieder neue Nebel, die der sechstausendfachen Vergrösserung widerstanden und den scharfsinnigen Forscher zu der Ansicht brachten, dass ausser den vielen Tausenden scheinbaren Nebeln, welche sich uns als fertig gewordene Sterne und für sich abgeschlossene Weltsysteme offenbaren, auch noch Tausende von wirklichen aus kosmischer Urmaterie bestehenden Nebeln im Weltenraume vorhanden sind, aus welchen sich erst neue Himmelskörper entwickeln sollen.

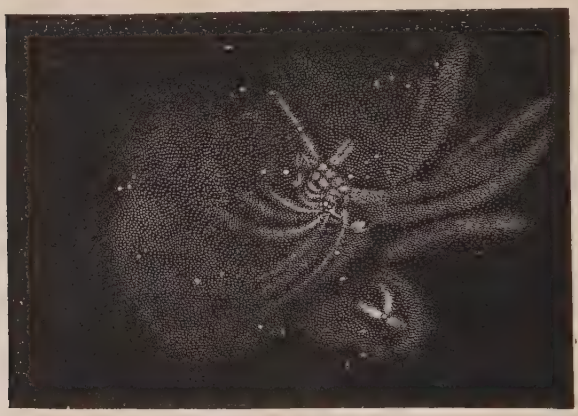
Lord Rosse baute ein Teleskop von zweiundfünfzig Fuss Länge, mittelst dessen er fast alle von Herschel nicht aufgelösten Nebel in Sternhaufen aufzulösen vermochte; allein das nun noch tiefer in den Weltenraum vordringende Auge traf wieder auf neue Nebel, welche der auflösenden Kraft des Rieseninstrumentes widerstanden.

Die Teleskope haben daher die Frage, ob die nicht aufgelösten Nebelflecke Theile der Urmaterie sind, welche zur Bildung der jetzt bestehenden Sterne gedient hat, nicht gelöst; sie lassen uns im Ungewissen, ob diese Nebel noch glühende Gasmassen sind, welche im Laufe der Zeiten die verschiedenen Perioden des glühend-flüssigen Zustandes (Sonne, Fixsterne), der Schlackenbildung und der allmählichen Bildung einer kalten, nicht leuchtenden Oberfläche (Erde und Planeten), und schliesslich die der vollendeten Erkaltung und Erstarrung (Mond) noch zu

durchlaufen haben werden, oder ob sie bereits fertige, in sich abgeschlossene Weltsysteme sind; sie haben das Problem der Nebelmassen nur erweitert, anstatt es zu vereinfachen oder zu lösen.

Was die Riesenteleskope nicht leisten können, das vermag das kleine unscheinbare, aber unendlich fein fühlende und spürende Spectroskop; ihm verdanken wir es,

Fig. 119.



Der grosse Nebelfleck im Orion.

wenn wir gegenwärtig mit völliger Bestimmtheit sagen können, dass es wirkliche leuchtende Nebel als isolirt im Weltenraume dastehende Körper giebt und dass diese Körper glühende oder leuchtende Gasmassen sind.

Das herrliche Gebäude, welches schon von Kant in seiner „Allgemeinen Naturgeschichte und Theorie des Himmels“ (1755) in seinen Grundlinien aufgezeichnet und von Laplace* 41 Jahre später aufgebaut wurde,

* Exposition du système du Monde. (1799.)

hat gegenwärtig durch die Spectralanalyse seinen Schlussstein erhalten. Das Spectroskop in seiner Verbindung mit dem Teleskop giebt uns die Mittel an die Hand, um noch heute einige der Phasen zu erkennen, welche die Sonne und die Planeten in ihrer Entwickelung oder ihrem Ueber-

Fig. 120.

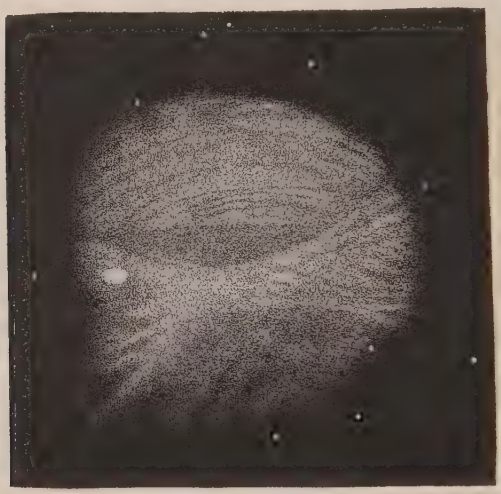
Mittlerer und glänzendster Theil des grossen Nebelflecks im Orion.

gange von leuchtenden Nebelhaufen zu dem gegenwärtigen Zustande durchlaufen haben.

In der Gestalt dieser Nebelflecke finden wir die grösste Verschiedenheit, von den chaotischen, durchaus unregelmässigen, oft höchst phantastischen Gebilden, bis hinauf zu den reinen und schönen Formen der Wirbel,

der Sicheln, der Kugeln und Ringe. Huggins hat eine Reihe der charakteristischeren dieser Formen auf Glas photographiren lassen; wir haben denselben nach genau angefertigten Zeichnungen von Lord Rosse* noch einige hinzugefügt und so können wir vermittelst der elektrischen

Fig. 121.



Grosse Magellanische Wolke.

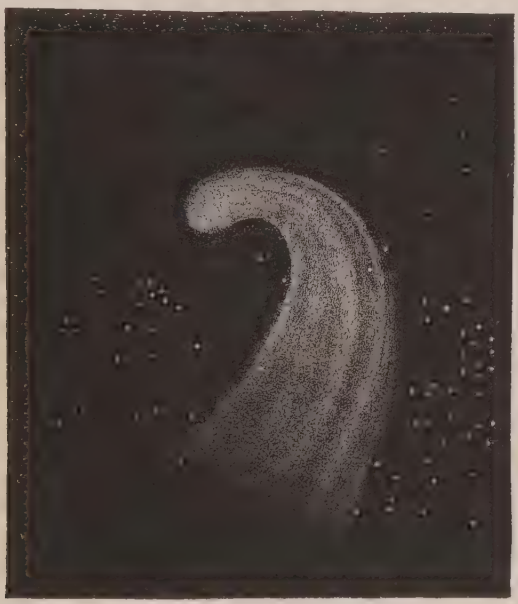
oder Kalklicht-Laterne vergrösserte und weithin sichtbare Bilder dieser Nebelgebilde auf einem Schirme darstellen.

Der ausgebreitetste und regelloseste aller Nebelflecke ist wohl der im Sternbilde Orion (Fig. 119 und 120). Er befindet sich etwas unterhalb der drei Sterne zweiter Grösse, welche die Mittelgegend des prachtvollen Sternbildes aus-

* Vergl. auch, v. Mädler: „Die Entfernungen im Weltenraume," in den Westermann'schen Monatsheften, Bd. XII. p. 182.

machen und ist mit blossem Auge sichtbar. Es ist ausserordentlich schwer, von diesem Nebel ein nur einigermaassen treues Bild zu entwerfen; doch scheint aus den zu verschiedenen Zeiten angefertigten Abbildungen hervorzugehen, dass die Gestalt und die Stellen der hellsten Theile sich

Fig. 122.



Sichelförmiger Nebelfleck (H. 3239).

verändern. Fig. 120 stellt den mittleren und glänzendsten Theil dieses Nebelflecks dar; es stehen darin vier helle, ein Trapez bildende Sterne, von denen bloss einer mit blossem Auge sichtbar ist. Der Nebel hat um diese Sterne herum ein flockiges und grünlich weisses Ansehen; einzelne Theile bilden lange gebogene Streifen, die von dem mitt-

leren und helleren Theile des Nebels strahlenförmig auszulaufen scheinen.

Nicht ganz so unregelmässig erscheinen die grossen Magellanischen Wolken (Fig. 121), oder die Capwolken, zwei Nebelflecke am südlichen Nachthimmel, von

Fig. 123.

Spiralnebel (H. 1173).

denen der eine an Ausdehnung die scheinbare Grösse der Mondscheibe um das Fünffache übertrifft. Sie sind dem blossen Auge mit grösster Deutlichkeit und in so bedeutendem Glanze sichtbar, dass sie zur Orientirung der Himmelsgegend und zur Bestimmung der Zeit dienen können.

Weit mehr als diese unregelmässig gestalteten, chao-

tischen Nebelgestalten, regen unseren Geist die Spiral- oder Wirbelnebel an, die wir erst durch Rosse's und Bond's Riesenteleskope näher kennen gelernt haben. In der Regel gehen von einem, zuweilen auch von mehreren Lichtknoten oder Centren zahlreiche krummlinige, nicht in sich zurückkehrende neblige Streifen aus, die sich spiral-

Fig. 124.

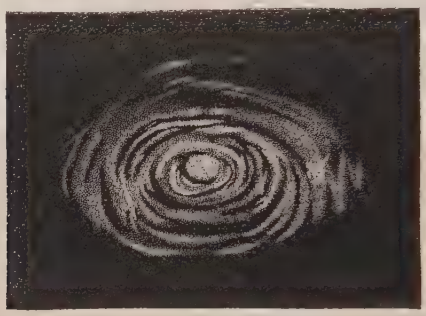
Spiralnebel in den Jagdhunden (H. 1622).

förmig vom Centrum entfernen und schliesslich unmerklich in den Himmelsraum verlieren. Fig. 122 zeigt einen sichel- oder schweifförmigen Nebelfleck (Herschel Nr. 3239), Fig. 123 einen vollen Spiralnebel (H. 1173) und Fig. 124 den bemerkenswerthesten aller Spiralnebel in den Jagdhunden (H. 1622).

Es ist kaum denkbar, dass das System eines solchen Nebelgebildes ohne innere Bewegung bestehen sollte; so-

wohl der hellere Kern, als die nach derselben Richtung um diesen sich biegenden Streifen deuten auf ein Zu-

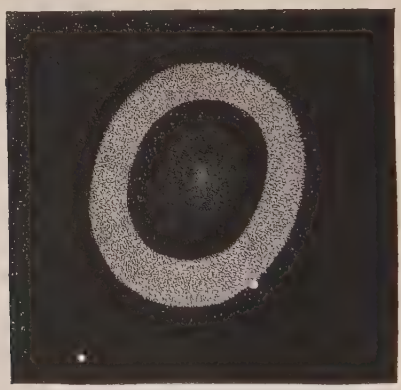
Fig. 125.



Uebergang vom Spiralnebel zum Ringnebel.

sammenballen, auf eine Verdichtung und Drehung des Kerns hin. Aber selbst dann, wenn wir mit dieser Bewegung die

Fig. 126.

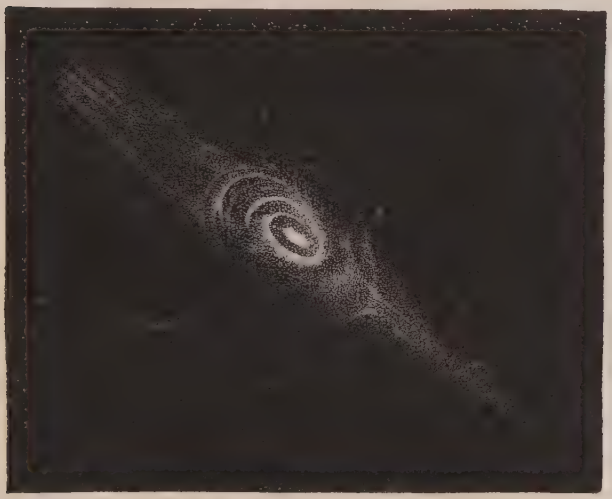


Ringnebel im Sternbilde der Leyer.

Annahme eines widerstehenden Mittels verbinden, ist es schwer ein solches System mit den bekannten Gesetzen

der Statik in Einklang zu bringen. Genaue Messungen sind daher behufs des Nachweises, dass wirklich Drehungen oder Veränderungen in diesen Nebelflecken vorkommen, vom höchsten Interesse, leider aber bei der Unbestimmtheit der nebelhaften Formen und der ausserordentlichen

Fig. 127.



Nebel mit mehrfachen Ringen (H 554).

Lichtschwäche dieser luftigen Gebilde äusserst schwierig und unsicher.

Den Uebergang von den Spiralnebeln zu den Ringnebeln bilden Nebelflecke, wie der in Fig. 125 (H. 604) abgebildete, und an diese schliessen sich dann die einfachen oder mehrfachen Ringnebel, deren allgemeiner Typus in Fig. 126 dargestellt ist, an.

Im Innern der meist elliptischen Ringe ist der Raum nicht völlig dunkel, sondern entweder mit einem äusserst

Fig. 128.

Elliptischer Ringnebel (H. 1909).

Fig. 129.

Länglicher Nebelfleck.

schwachen Nebellichte, wie in Fig 126, oder in den meisten Fällen mit einem hellen leuchtenden Kerne besetzt, um den sich in den verschiedensten Formen bald ein, bald mehrere Ringe lagern. Fig. 127 ist das Bild eines mehrfachen Ringnebels (H. 854) mit stark elliptischen Ringen und hellem Kerne.

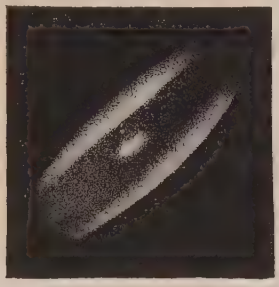
Je nachdem der Ring mit seiner Fläche oder mit seiner Kante uns zugekehrt ist, oder je nachdem unsere Sehlinie auf der Ringfläche senkrecht steht oder mehr oder weniger schief dagegen gerichtet ist, nähert sich das Bild des Ringes dem Kreise oder der Ellipse oder auch einer geraden Linie. Nebelringe dieser letzteren Art sehen wir in Fig. 128 (H. 1909) und Fig. 129 (H. 2621). Wenn sich ein elliptischer Ringfleck stark in die Länge streckt und die kleine Achse viel

kleiner ist als die grosse, so nimmt mit der Entfernung vom inneren Lichtkerne die Dichtigkeit und die Helligkeit im Ringe ab und zuweilen in einem so hohen Grade, dass an den entferntesten Stellen des Ringes, an den Enden der grossen Achse der Ring unterbrochen zu sein scheint. Der Nebelfleck gewinnt dann, wie es die Fig. 130 (H. 3501) und Fig. 131 (H. 2552) zeigen, das Ansehen eines Doppelnebels mit Centralfleck.

Fig. 130.

Doppelnebel (H. 3501).

Fig. 131.

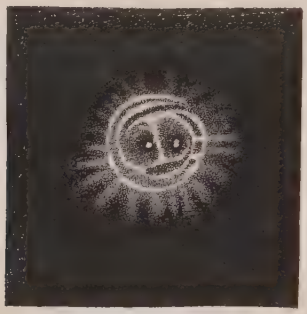


Ringförmiger Nebel mit Centrum (H. 2552).

Viel weiter scheinen diejenigen Nebelflecke in ihrer Entwickelung vorgeschritten zu sein, welche mit ziemlich scharf begrenzten Rändern entweder in Kreisform oder nur schwach elliptisch geformt erscheinen. Weil sie bleichen, oder in matt bläulichem Lichte leuchtenden Planeten ähnlich sind, werden sie planetarische Nebel genannt; übrigens sind sie der Form nach ebenfalls sehr verschieden, theils Spiral-, theils Ringnebel. Die Fig. 132 (H. 838), 133 (H. 464) und 134 (H. 2241) stellen solche planetarische Nebel dar; der erste hat zwei Sterne oder Lichtkerne und zwei diese umgebende dunkle Räume, um

welche sich die Spiralstreifen lagern; der zweite hat ebenfalls zwei Kerne ohne deutlich gesonderte Dunkelräume;

Fig. 132.

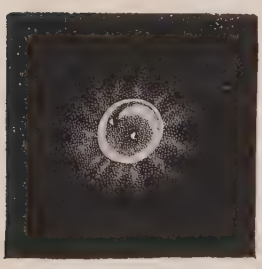


Planetarischer Nebel mit zwei Sternen (H. 838).

der dritte hat gar keinen Lichtkern, aber einen deutlich ausgeprägten Lichtring.

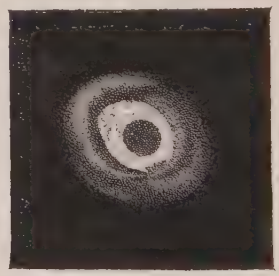
Die vollendetsten der Nebelflecke sind wohl die Nebel-

Fig. 133.



Planetarischer Ringnebel mit zwei Sternen (H. 464).

Fig. 134.



Planetarischer Nebel (H. 2241).

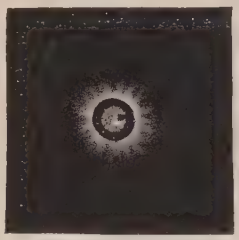
sterne, bei welchen ein ziemlich scharf begrenzter und hell leuchtender Stern von einer vollkommen runden Scheibe oder von einer matten Lichtatmosphäre umgeben ist, welche

zuweilen sich unmerklich nach allen Seiten hin verliert, in andern Fällern aber sich scharf abgrenzt. Die Fig. 135 (H. 2098) und 136 (H. 450) zeigen die bemerkenswerthesten dieser höchst merkwürdigen Nebelsterne; der erstere ist wie Saturn von einem Ringsystem umgeben, das uns seine scharfe Seite zukehrt; der zweite ist ein wirklicher Stern achter Grösse und nicht nebelig, von einer kreisrunden und hell leuchtenden Atmosphäre genau concentrisch umgeben. Zur Rechten des Sterns befindet sich ein kleiner dunkler Raum, welcher vielleicht eine Oeffnung in

Fig. 135.

Planetarischer Nebel (H. 2098).

Fig. 136.



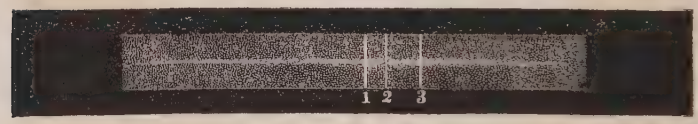
Nebelstern (H. 450).

der Lichtatmosphäre andeutet, wie sie mehrfach bei diesen Nebeln beobachtet worden ist.

Wir haben nun wenigstens der Form nach ein ziemlich vollständiges Bild von dem vorgeführt, was die Riesenteleskope von den Nebelhaufen zeigen; das Material, welches uns bis jetzt der Spectralapparat darüber geliefert hat, ist zwar an Umfang weit kleiner, aber nichts desto weniger von der grössten Bedeutung für die Erkenntniss der Natur und der physischen Constitution dieser so weit entlegenen Himmelskörper. Wir müssen uns vorab daran erinnern, dass wir aus der Art des Spectrums nicht bloss

die Substanz, welche das Licht aussendet, sondern auch ihren Aggregatzustand erkennen können. Besteht das Spectrum in continuirlicher Folge aus Lichtstrahlen jeder Brechbarkeit oder Farben, so ist die Lichtquelle ein glühender fester oder flüssiger Körper; wenn dagegen das Spectrum bloss aus hellen Linien besteht, so wissen wir, dass die Lichtquelle ein glühendes Gas ist; erscheint endlich ein Spectrum, in welchem die Continuirlichkeit der Farben durch dunkle Linien unterbrochen ist, so lehrt uns dasselbe über die Substanz der Lichtquelle selbst nichts Näheres, aber wir wissen dann, dass das Licht durch

Fig. 137.



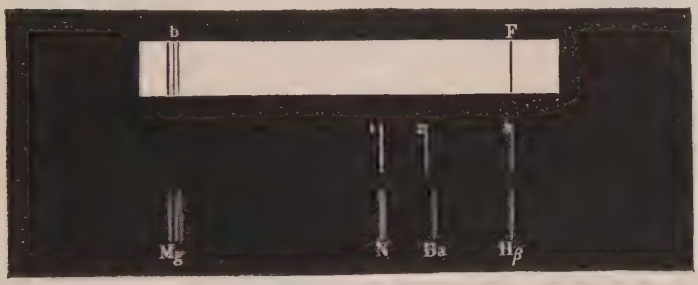
Spectrum des Nebelflecks H. 4374.

eine Atmosphäre von Dämpfen niedrigerer Temperatur gegangen ist, welche durch ihre elective-absorbirende Kraft diejenigen farbigen Strahlen ausgelöscht haben, welche sie selbst ausgestrahlt haben würden, wenn sie für sich allein geleuchtet hätten.

Als Huggins zuerst im August 1864 sein teleskopisches Spectroskop auf eines dieser Gestirne aus der Classe der sehr kleinen, aber glänzenden Nebel (H. 4374) richtete, fand er zu seiner höchsten Ueberraschung, dass das Spectrum, Fig 137, nicht das Ansehen eines leuchtenden continuirlich farbigen Streifens habe, wie es ein Stern zeigt, sondern aus drei hellen Linien bestehe.

Diese eine Beobachtung war ausreichend, um das so lange angeregte Problem zu lösen, wenigstens für diesen besonderen Nebel, und um zu beweisen, dass es nicht ein Haufen von einzelnen, unterscheidbaren Sternen, sondern ein wirklicher, gasförmiger Nebel ist. In der That kann ein solches Spectrum nur von einer gasförmigen Substanz herrühren; das Licht dieses Nebels wurde daher weder von einer glühenden festen oder flüssigen Materie, noch von einem stark verdichteten Gase ausgestrahlt, wie

Fig. 138.



Spectrum des Nebelflecks verglichen mit der Sonne und einigen irdischen Stoffen.

das der Sonne und der Sterne, sondern von einem leuchtenden wenig dichten Gase.

Um die chemische Natur dieses Gases zu ermitteln, stellte Huggins das bekannte Vergleichsverfahren an, und zwar verglich er das Spectrum des Nebelflecks nach der Reihe mit einigen Fraunhofer'schen Linien des Sonnenspectrums und den hellen Linien irdischer Stoffe. Das Resultat dieser Untersuchung ist aus der Fig. 138 leicht zu erkennen. Die glänzendste Linie 1 des Nebelflecks liegt den hellsten Linien (N) des Stickstoffspectrums sehr nahe

und fällt mit einer derselben vollkommen zusammen. Eben so coincidirt die schwächste der Linien des Nebelflecks (3) mit der grünblauen Linie $H\beta$ des Wasserstoffs oder auch, was dasselbe ist, mit der Fraunhofer'schen Linie F des Sonnenspectrums. Die mittlere Linie 2 des Nebelflecks hat keine entsprechende unter den hellen Linien der dreissig irdischen Stoffe, welche damit verglichen sind; sie liegt nicht weit von der Bariumlinie *Ba*, aber sie fällt nicht mit ihr zusammen.

Huggins und neuerdings auch Frankland und Lockyer sowie Secchi haben sich eingehend mit der Frage beschäftigt, aus welchem Grunde die übrigen charakteristischen hellen Linien der genannten Gase in dem Spectrum des Nebels nicht sichtbar sind. Die drei ersten Gelehrten haben gefunden, dass, wenn man die Geissler'sche Röhre, in welcher Wasserstoff oder Stickstoff durch den elektrischen Funken glühend gemacht werden, etwas von dem Spalte des Spectroskops entfernt und die Spectra aus einer hinreichend grossen Entfernung betrachtet, nicht bloss die doppelte Linie des Stickstoffs einfach erscheint, sondern auch die übrigen hellen Linien beider Gase aus dem Spectrum verschwinden mit alleiniger Ausnahme derjenigen, welche auch in dem Spectrum des Nebels gesehen werden.

Frankland und Lockyer aber haben weiter constatirt, dass das Spectrum der genannten Gase bei niedriger Temperatur und geringem Drucke nur aus einer einzigen Linie im Grün besteht (S. 121), woraus sich dann folgern lässt, dass die Temperatur der Nebelflecke weit niedriger ist als die unserer Sonne, und dass

ihre Masse eine ungemein geringe Dichtigkeit besitzt.

Secchi, dessen Werk „Sulla grande Nebulosa di *O* Orionis“ eine genaue Abbildung dieses Nebels enthält, hat durch Vergleichung der dem Stickstoff angehörigen hellen Linie des Nebels mit den Spectren des irdischen Stickstoffs gefunden, dass jene helle Linie im Stickstoffspectrum I. O. einer dunkeln Stelle entspricht, während sie im Spectrum II. O. mit einer prachtvollen hellen Linie coincidirt. Da nun die Entstehung des letzteren Spectrums durch eine elektrische Entladung von hoher Spannung erzeugt wird, so schliesst Secchi, dass die Masse des Nebelflecks sich in demselben Zustande befindet, wie der irdische Stickstoff in hoch gespanntem elektrischem Strome. Wüllner bezeichnet diesen Zustand als den einer hohen Temperatur; Frankland und Lockyer dagegen behaupten, dass die Spectra II. O. mit weniger hellen Linien einer niedrigern Temperatur angehören, als die continuirlichen der I. O.

Es wird noch einer näheren Untersuchung bedürfen, um den wahren Zusammenhang zwischen der Spannung des elektrischen Stromes und der Temperatur und der Dichtigkeit des Gases, welches durch die elektrische Entladung zum Glühen kommt, zu finden. Ebenso muss noch näher ermittelt werden, ob die Ansicht von Huggins, dass durch ein dem kosmischen Raume eigenthümliches Absorptionsvermögen die anderen Linien, welche in den Spectren des irdischen Wasserstoffs und des Stickstoffs vorkommen, bei der Fortpflanzung des Lichtes von dem Nebelflecke bis zu uns ausgelöscht werden, richtig ist oder nicht.

Ausser diesen drei hellen Linien zeigte das Spectrum

des Nebelflecks (Fig. 137) noch ein äusserst schwaches, continuirliches Spectrum von kaum wahrnehmbarer Breite, welches seiner Natur nach nur von dem diffusen Lichte eines schwach glühenden festen oder flüssigen Kerns, oder auch von dem Lichte einer matt leuchtenden, in der Form eines Dunstes von festen oder flüssigen Theilchen bestehenden Materie herrühren konnte.

Huggins hat in den Jahren 1865 und 1866 mehr als sechzig Nebelflecke mit dem Spectroskope untersucht, insbesondere um zu ermitteln, ob diejenigen Nebel, welche sich im Teleskope mit Sicherheit in eine Anhäufung von hellen Punkten auflösen lassen, ein continuirliches oder ebenfalls ein Linien-Spectrum zeigen. Die grosse Lichtschwäche der kosmischen Nebelmassen in Verbindung mit dem Umstande, dass nur bei sehr klarem und mondfreiem Himmel Untersuchungen dieser Art ausführbar sind, macht die spectroskopischen Beobachtungen dieser Gestirne ausserordentlich schwierig und die Resultate derselben unsicher. Nur auf dem Wege mehrmal wiederholter Beobachtungen und Messungen, insbesondere wenn dieselben an verschiedenen Orten und von verschiedenen Astronomen ausgeführt werden, lassen sich im Laufe der Zeit die störenden Einflüsse beseitigen und zuverlässige Resultate gewinnen.

Huggins theilt auf Grund seiner Beobachtungen die Nebelmassen in zwei Gruppen ein; dieselben umfassen

1) die Nebel, deren Spectrum aus einer oder mehreren hellen Linien besteht;
2) die Nebel, deren Licht durch das Prisma in ein Spectrum von continuirlichem Ansehen ausgedehnt wird.

Von den sechzig untersuchten Nebelflecken gehört ungefähr ein Drittel der ersten Gruppe an; ihr Spectrum besteht aus einer, zwei oder drei hellen Linien, einige zeigen zugleich noch ein sehr schmales, schwaches, continuirliches Spectrum. Es sind die folgenden:*

Nr. 4373	37 *H.* IV.	Nr. 2102	27 *H.* IV
„ 4390	6 Σ	„ 4214	5 Σ
„ 4514	73 *H.* IV	„ 4403	17 *M*
„ 4510	51 *H.* IV	„ 4572	16 *H.* IV
„ 4628	1 *H.* IV	„ 4499	38 *H.* VI
„ 4447	Ringnebel der Leyer	„ 4827	705 *H.* II
„ 4964	18 *H.* IV	„ 4627	192 *H.* I
„ 4532	Dumb-bell	„ 385	76 *M*
„ 1189	Orion-Nebel	„ 386	193 *H.* I
„ 2102	27 *H.* IV	„ 2343	97 *M.*

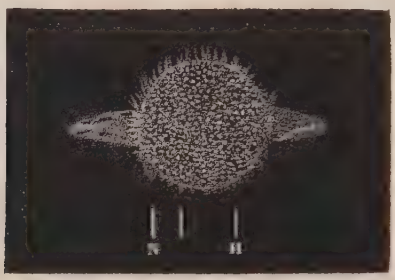
Sternhaufen und Nebel mit anscheinend continuirlichem Spectrum ohne Linien:

Nr. 4294	92 *M*	Nr. 4230	13 *M*
„ 4244	50 *H.* IV	„ 4238	12 *M*
„ 116	Andromeda-Nebel	„ 4244	50 *H.* IV
„ 117	32 *M*	„ 4256	10 *M*
„ 428	55Andromeda	„ 4315	199 *H.* II
„ 826	2 *H.* IV	„ 4357	11 *M*
„ 4670	15 *M*	„ 4437	11 *M*
„ 4678	18 *H.* V	„ 4441	47 *H.* I
„ 105	151 *H.* I	„ 4473	Auw. 44
„ 307	156 *H.* I	„ 4885	56 *M*
„ 575	156 *H.* I	„ 4526	2081 *h*
„ 1949	81 *M*	„ 4625	52 *H.* I
„ 1950	82 *M*	„ 4600	15 *H.* V
„ 3572	51 *M*	„ 4760	207 *H.* V
„ 2841	43 *H.* V	„ 4815	53 *H.* I
„ 3474	63 *M*	„ 4821	233 *H.* II
„ 3636	3 *M*	„ 4879	251 *H.* II
„ 4058	215 *H.* I	„ 4883	212 *H.* I
„ 4159	1945 *h*		

* Die Zahlen beziehen sich auf den Generalkatalog von J. Herschel.

Die Glasphotographien, welche Huggins nach Zeichnungen von einigen der interessanteren, gasartigen Nebel hat

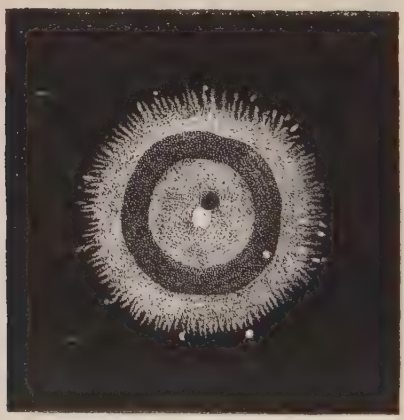
Fig. 139.



Planetarischer Ringnebel im Wassermann nebst Spectrum.

anfertigen lassen, gestatten zugleich die Linienspectra derselben in vergrössertem Bilde auf dem Schirme darzustellen.

Fig. 140.



Nebelstern (H. 450).

Fig. 139 ist der planetarische Ringnebel im Wassermann, nach der von Lord Rosse gemachten Zeichnung

(Fig. 135); der Nebel, dessen Ringfläche uns seine scharfe Seite zukehrt, hat ein Spectrum von drei hellen Linien, von denen wieder, wie in Fig. 137, die eine auf die Anwesenheit von Stickstoff, die andere auf Wasserstoff hinweist.

In Fig. 140 erscheint derselbe Nebel, den wir bereits nach der Zeichnung von Lord Rosse in Fig. 136 sahen, in bedeutender Vergrösserung: sein Bau ist im Wesentlichen

Fig. 141.

Spiralnebel (H. 4964) nebst Spectrum.

derselbe wie bei dem vorigen, eine leuchtende Gasmasse mit centralem Lichtkerne und umgeben von einem leuchtenden Ringe; der letztere hat uns jedoch seine ganze Fläche zugekehrt, und daher erscheint der Nebel in einer ganz anderen Form als der vorige. Das Spectrum besteht ebenfalls aus drei hellen Linien.

Auf den ersten Blick erkennen wir in dem Nebelfleck, Fig. 141, einen Spiralnebel (H. 4964); derselbe ist dadurch merkwürdig, dass sein Spectrum vier glänzende Linien

zeigt, unter denen jedoch sowohl die Stickstoff-, als die Wasserstofflinie vorkommt.

Dagegen hat das Spectrum des Ringnebels in der Leier (*H.* 4447), Fig. 142, nur eine helle Linie und zwar die des Stickstoffs. Wenn man das Spectroskop so auf den Nebelfleck richtet, dass der Spalt denselben ganz durchschneidet, so erscheint die helle Linie aus zwei glänzenden Strichen zusammengesetzt, welche den unteren und oberen Ringschnitten entsprechen. Diese beiden Striche sind durch einen schmalen Strich verbunden, welcher zeigt, dass der lichtschwache innere Theil des Nebels von derselben Beschaffenheit ist wie der umgebende Ring.

Fig. 142.

Ringnebel in der Leyer nebst Spectrum.

Der grosse Orion-Nebel, Fig. 119 und 120, ist mehrfach Gegenstand der spectroskopischen Untersuchung gewesen; sein Spectrum besteht aus drei sehr deutlich ausgeprägten hellen Linien, von denen wieder die eine die Stickstoff-, die andere eine Wasserstofflinie ist.

Neuerdings hat jedoch Huggins mit viel kräftigeren Instrumenten seine früheren Untersuchungen wiederholt, und namentlich die beiden letzteren hellen Linien mit den terrestrischen Gasen Stickstoff und Wasserstoff unter Umständen verglichen, die ihm ein viermal so langes Spectrum gaben, als es bei seinen früheren Untersuchungen der Fall war. Das Resultat dieser mehrere Nächte fortgesetzten Beobachtungen war auch bei dem so bedeu-

tend ausgedehnten Spectrum eine völlige Coincidenz zwischen den Linien des Nebels und denen der genannten Gase, so dass an der Identität dieser Linien nicht mehr gezweifelt werden kann.

Uebrigens haben in der neuesten Zeit sowohl Lieutenant Herschel in Indien als auch Lord Rosse und Prof. Winlock (vom Harward Observatorium) noch dieselbe vierte helle Linie darin gefunden, welche Huggins bereits in dem Nebel *H.* 4964 (Fig. 141) angetroffen hat und die wahrscheinlich ebenfalls dem Wasserstoff angehört. Die letztgenannten Beobachter haben die Vermuthung ausgesprochen, dass wohl noch andere sehr schwache Linien in diesem Spectrum vorhanden sein mögen, zu deren Wahrnehmung aber noch grössere und mächtigere Instrumente erforderlich seien.

Alle wirklichen Sternhaufen, welche durch das Teleskop in einzelne getrennte leuchtende Punkte aufgelöst worden sind, geben anscheinend ein continuirliches Spectrum, ohne Unterbrechung und ohne helle Linien. Aber es giebt einige wenige Fälle, wo auflösbare Nebelflecke (z. B. der im Herkules) hiervon abweichende, eigenthümliche Spectra mit Bändern und dunkeln Linien zeigen; es war daher von Interesse zu erfahren, in wie fern und in welchem Umfange die Classification der Nebelflecke, wie sie durch das Spectroskop angezeigt wird, mit denjenigen Resultaten über die Auflösbarkeit übereinstimmt, welche man durch die Riesenteleskope erhalten hat.

Die folgende Tabelle giebt hierüber Auskunft; sie rührt von Lord Oxmantown her, der alle Beobachtungen, welche Huggins mit dem grossen Spiegelteleskop

seines berühmten Vaters, des Lord Rosse, angestellt hatte, einer Revision unterzogen hat.

	Contin. Spectrum.	Linien-Spectrum.
Sternhaufen	10	0
Aufgelöst oder wahrscheinlich aufgelöst	10	0
Auflösbar oder wahrscheinlich auflösbar	5	6
Blau oder grün, wahrscheinlich nicht auflösbar	0	4
Ohne wahrgenommene Auflösbarkeit	6	5
	31	15
Nicht beobachtet durch Lord Rosse	10	4
Im Ganzen	41	19

Die Hälfte der Nebel, welche ein continuirliches Spectrum gaben, sind in Sterne aufgelöst worden, und ein Drittel ist wahrscheinlich auflösbar, während von den Nebeln mit Linien-Spectren nicht ein einziger von Lord Rosse mit Sicherheit als aufgelöst gesehen worden ist. Unter Berücksichtigung der grossen Schwierigkeiten dieser Untersuchungen kann man daher kaum noch daran zweifeln, dass eine Uebereinstimmung zwischen den Resultaten des Teleskops und des Spectroskops besteht, und diejenigen Nebelflecke, deren Spectrum continuirlich erscheint, als eine Anhäufung von wirklichen Sternen, als Sternhaufen, zu betrachten sind, wogegen die Nebel, deren Spectrum aus hellen Linien besteht, für leuchtende Gasmassen gehalten werden müssen, in denen Stickstoff und Wasserstoff die vorwaltenden Bestandtheile sind.

60. Spectra der Kometen.

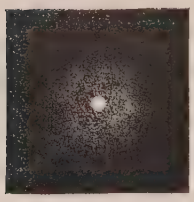
Ausser den um die weissglühende Sonne kreisenden, bereits kalten oder in der Abkühlung begriffenen Planeten, welche ihr Licht der Sonne verdanken und die in gemessenen Bahnen beinahe in einer einzigen Ebene und sämmt-

lich in gleicher Richtung, von West nach Ost, am Himmelsgewölbe unter den Fixsternen wandeln, sieht man von Zeit zu Zeit besondere Wandelsterne am dunkeln Nachthimmel auftauchen, die durch den raschen Wechsel ihrer Gestalt und Grösse, durch das Abenteuerliche ihrer Form und durch die Helligkeit ihres Lichtes die allgemeinste Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen pflegen. Es sind die Kometen oder Haarsterne, deren Bewegungsgesetze wir zwar kennen, die aber rücksichtlich ihrer physischen Natur für den Astronomen noch grössere Räthsel sind als die Nebelflecke. Wenn wir ihrer ansichtig geworden sind, bewegen sie sich ebenfalls um die Sonne, aber oft genug in so lang gestreckten Bahnen, dass wir diese kaum noch Ellipsen nennen können, ausserdem in allen möglichen Ebenen und Richtungen, bald wie die Planeten von West nach Ost, bald gerade entgegengesetzt von Ost nach West. Mehrere von diesen räthselhaften Gestirnen haben geschlossene Bahnen um die Sonne, die sie in regelmässig wiederkehrenden Perioden durchlaufen; andere kommen ganz unerwartet aus dem Weltenraume in unser Sonnen-System und entfernen sich wieder auf Nimmerwiedersehen. Zu den ersteren gehören folgende:

Komet.	Umlaufs-Zeit.	Grösste Sonnen- Nähe.	Ferne.
	Jahre.	Geographische Meilen.	
Encke's	3 1/3	63 Millionen	81 Millionen
Winnecke's	5 1/2	15 „	109 „
Brorsen's	5 3/5	12 „	112 „
Biela's	6 3/4	17 „	122 „
Faye's	7 1/2	34 „	118 „
Halley's	76 1/6	11 1/2 „	690 „

Während die vorstehenden Kometen eine kurze Umlaufszeit haben, ergeben die nach den gemachten Beobachtungen angestellten Berechnungen für die Kometen von 1858, 1811 und 1844 bezüglich die Umlaufszeiten von 2100, 3000 und 100,000 Jahren. Nicht minder grosse Verschiedenheiten zeigen dieselben in Bezug auf ihre Annäherung und Entfernung zur Sonne. Encke's Komet ist in dem Perihelium der Sonne zwölfmal näher als im Aphelium; einige von ihnen, deren grösste Sonnenferne weit über die Jupitersbahn hinausliegt, kommen der Sonne so nahe, dass sie beinahe ihre Oberfläche streifen. Nach Newton's Schätzung kam der Komet von 1680 der Sonne so nahe, dass seine Temperatur die des weissglühenden Eisens um das Zweitausendfache übertraf; er blieb bei seiner grössten Annäherung an die Sonne nur um ein Sechstel ihres Durchmessers von ihr entfernt; ebenso war der Komet von 1843 der Sonne so nahe, dass er am hellen Tage gesehen werden konnte.

Fig. 143.



Donati's Komet am 2. Juni 1858.

Die meisten Kometen zeigen eine glänzende oder mit mildem Lichte leuchtende planetenartige Scheibe, die man den Kern nennt; der Kern ist umgeben von einer matter leuchtenden Dunst- oder Nebelhülle, der Coma; Kern und Coma bilden den Kopf des Kometen. Bei fast allen Kometen, welche mit blossem Auge sichtbar sind, geht vom Kopfe ein mehr oder minder breiter und langer, geradliniger oder gebogener, einfacher oder mehrfacher Lichtstreifen aus, der Schweif, für dessen Richtung im All-

gemeinen die Regel gilt, dass er von der Sonne abgewendet ist und die Verlängerung einer die Sonne und den Kometen verbindenden geraden Linie bildet. Während der Schweif bei den teleskopischen Kometen häufig fehlt und dieser dann das Ansehen eines grösseren oder kleineren, mehr oder minder regelmässigen Nebels mit Lichtkern hat, Fig. 143 (Donati's Komet bei seinem Erscheinen am 2. Juni 1858), zeigte der Julikomet von 1861, Fig. 144, zwei Schweife; der Komet von 1844 hatte sogar sechs Schweife.

Die Schweife, wie die Coma und die Kerne der Ko-

Fig. 144.

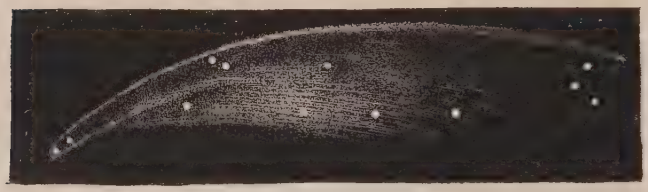
Juli-Komet am 3. Juli 1861.

meten sind durchsichtig und bewirken keine Brechung der von den dahinter stehenden Sternen ausgehenden Lichtstrahlen. Bessel sah am Halley'schen, Struve am Bielaschen Kometen Fixsterne nur wenige Secunden vom Mittelpunkte hinter dem Kerne, der über sie hinwegging und sie weder unsichtbar machte, noch selbst merklich schwächte; aus den angestellten genauen Messungen und den Berechnungen über die Bewegung des Kometen ergab sich zugleich, dass keine Brechung des Lichtes den Ort jener Sterne verändert hatte.

Gleiche Beobachtungen wurden an dem Donati'schen Kometen von 1858 (Fig. 145) und dem Julikometen von

1861 (Fig. 146) gemacht.* Dicht am Kopfe des ersteren, an einer Stelle, wo der beginnende Schweif gegen zwölftausend Meilen dick war, sah man den Stern Arcturus hell durchleuchten; bei beiden Kometen funkelten eine Menge Fixsterne durch den noch viel dickeren Schweif mit ungeschwächtem Lichte und in vollem Glanze hindurch. Der Komet von 1828 bildete eine Kugel von ungefähr 125,000 Meilen Durchmesser, und dennoch sah Struve durch die Mitte desselben einen Stern elfter Grösse, so dass Babinet Recht zu haben scheint, wenn er behauptet,

Fig. 145.



Donati's Komet am 5. October 1858.

dass seinen Beobachtungen zufolge das Dazwischentreten eines Kometen das Licht der Sterne nicht aufhält, und dass durch seine Masse hindurch selbst Sterne von zehnter und elfter Grösse und noch kleinere gesehen werden, ohne das Mindeste von ihrem Glanze und ihrer Farbe zu verlieren.

Der Kern des Kometen erleidet durch die Annäherung an die Sonne Veränderungen in der Grösse und in der Dichtigkeit; da derselbe selten scharf begränzt ist, so ist es schwer, seine Grösse mit einiger Genauigkeit anzu-

* Vergl. Westermann'sche Monatshefte V. p. 277 und XI. p. 568; Natur und Offenbarung IV. p. 506.

geben. Die Kometen von 1798 und 1805 hatten einen Kern von nur 5 respective 6 geographischen Meilen Durchmesser; dagegen zeigte der grosse Komet des Jahres 1811 einen Durchmesser von 85, des Jahres 1843 von 1000, des Jahres 1845 von 1600 geographischen Meilen. Der Donati'sche Komet hatte am 1. September 1858 einen Durchmesser von 2970 Meilen, am 25. September von nur noch 353 Meilen.

Fig. 146.

Juli-Komet am 2. Juli 1861.

Auch die Nebelhülle oder die Coma zeigt Veränderungen in der Form und Grösse, je nachdem sich der Komet der Sonne nähert oder sich von ihr entfernt. Man sollte glauben, dass sich die Nebelhülle bei der Annäherung an die Sonne in Folge der starken Erhitzung auflockern und ausdehnen werde; aber wie am Kerne hat man bei vielen Kometen gerade das Entgegengesetzte beobachtet. Bei dem Encke'schen Kometen z. B. war im Jahre 1838 der Durchmesser der Coma am 9. October 61,000 Meilen, am

25. October 26,200 Meilen, am 23. November 8400 Meilen und am 17. December nur noch 650 Meilen.

Der Schweif ist eine Fortsetzung der Coma und erscheint in den meisten Fällen von der Sonne abgekehrt, Fig. 147, mag sich der Komet der Sonne nähern oder sich von ihr entfernen.

Fig. 147. Stellung des Kometenschweifes gegen die Sonne.

Die Fig. 148, eine Zeichnung des Prof. Joh. Müller, macht diese Schweifstellung sehr anschaulich. In dem Sternkärtchen sind auf der unteren Linie rechts die Stellen bezeichnet, an welchen die Sonne am 27. September, am 8. und 14. October stand, und diese Sonnenörter sind mit den gleichzeitigen Oertern des Donati'schen Kometen durch gerade Linien verbunden. Der Schweif erschien stets gekrümmt, und zwar mit der convexen Seite nach derjenigen Richtung hin gewendet, nach welcher sich der Komet fortbewegte. Dabei zeigte sich diese voranschreitende Seite weit schärfer begrenzt als die concave, gerade so als ob irgend ein widerstehendes Medium sich der Fortbewegung des Schweifes entgegengestellt und diesen zurückgedrängt hätte. Aber nicht immer hat der

Schweif diese Richtung; man hat Kometen beobachtet, deren Schweif der Sonne zugekehrt war, und solche,

Fig. 148.

welche mehrere Schweife von ganz entgegengesetzter Richtung zeigten.

Bei der Annäherung eines Kometen an die Sonne vergrössert sich der Schweif regelmässig, woraus folgt,

dass die Sonne, sei es in Folge der Wärmewirkung oder auf andere Weise zur Schweifbildung wesentlich beiträgt und die Absonderung materieller Theile vom Hauptkörper der Kometen verursacht. Die Länge der Schweife liegt nur in seltenen Fällen unter hunderttausend Meilen, in anderen Fällen aber erstreckt sich dieselbe auf zwanzig, dreissig und mehr Million Meilen. Die Breite des Schweifes des grossen Kometen von 1811 war an der breitesten Stelle bei drei Million Meilen, die Länge fünfundzwanzig Million und bei dem zweiten desselben Jahres sogar drei-

Fig. 149.

Juli-Komet am 30. Juni und 1. Juli 1861.

ssig Million Meilen. Und doch geht die Bildung des Schweifes in sehr kurzer Zeit, oft in einigen Wochen und Tagen vor sich.

In welcher Weise die Annäherung an die Sonne auf die Schweifbildung einwirken kann, zeigt der Komet von 1680, der in seiner grössten Sonnennähe stündlich einen Weg von 260,000 geographischen Meilen zurücklegte und dabei in zwei Tagen einen Schweif von zwölf Million geographischen Meilen ausstiess.

Dass unter solchen Umständen die Masse der Kometen äusserst gering sein muss, ist leicht begreiflich. Es

ist sehr wahrscheinlich, dass unsere Erde am 30. Juni 1861 wirklich durch die Schweifmaterie des prachtvollen sogenannten Julikometen (Fig. 149), der am 29. Juni plötzlich mit wolkigem Kopfe und langem Schweife wie hingezaubert am Himmel erschien, hindurchgegangen ist, ohne dass wir etwas anderes als eine von dem Astronomen Hind und auch in Liverpool beobachtete eigenthümliche Phosphorescenz der Erdatmosphäre wahrgenommen haben. Aehnlich verhielt es sich mit dem Komet von 1776, der mitten zwischen den Trabanten des Jupiter hindurchging, ohne diese in ihrem Laufe auch nur im Mindesten zu stören. Ein Gleiches geschah aber nicht an dem Kometen; die Einwirkung der Jupitersmonde auf seine geringe Masse war so gross, dass er vollständig aus seiner langgestreckten Bahn hinausgeschleudert und in eine neue hineingedrängt wurde, welche er nun in ungefähr zwanzig Jahren durchläuft.

Endlich müssen wir noch der merkwürdigen Erscheinung gedenken, dass sich ein Komet zuweilen in zwei Theile theilt und die beiden getrennten Theile dann als selbstständige Kometen ihre Bahnen verfolgen. Ein solches Ereigniss hat sich unter den Augen der Beobachter noch im Jahre 1845 an dem Biela'schen Kometen vollzogen. Als derselbe im Jahre 1845 am 26. November beobachtet wurde, erschien er als schwacher, nicht völlig runder Nebelfleck mit einer geringen Verdichtung gegen die Mitte hin. Am 19. December war er etwas mehr in die Länge gezogen und zehn Tage später hatte er sich in zwei deutlich getrennte Nebelmassen von gleicher Dimension zertheilt, die beide mit Kopf und Schweif versehen

waren und von da an länger als drei Monate in einem Abstande von $^1/_{10}$, später von $^1/_5$ Mondbreite neben einander fortliefen. Im August 1852 kehrte das Kometenpaar zurück; der Abstand beider Körper, welche über $6^1/_2$ Jahre gemeinschaftlich ihre Bahn um die Sonne durchlaufen hatten, war in dieser Zeit erheblich gewachsen und von vierunddreissigtausend auf dreihunderttausend Meilen gestiegen. Aber damit nicht genug; gemäss der bekannten Umlaufszeit stand im Jahre 1859 und nochmals im Jahre 1866 seine Rückkehr wieder zu erwarten, und zwar musste er von der Erde aus gesehen werden, da seine Bahn die Erdbahn an der Stelle durchschneidet, wo die Erde sich am 30. November befindet. Aber aller Nachforschungen ungeachtet hat man nichts von ihm gesehen, und es scheint, dass er entweder, wie der Lexell'sche Komet, durch andere Angehörige unseres Sonnensystems aus seiner Bahn abgelenkt worden ist, oder, wozu es ebenfalls an Analogien nicht fehlt, als Komet sich aufgelöst und eine andere Form seiner Existenz angenommen hat.

Wir mussten auf die wichtigeren Erscheinungen, welche die Kometen theilweise schon dem blossen Auge, hauptsächlich aber dem Teleskope darbieten, etwas weitläufiger, als es unser nächster Zweck zu verlangen scheint, eingehen, um einen Ausgangspunkt für die Beantwortung der Fragen nach der physischen Natur dieser Himmelskörper zu gewinnen und einen Maassstab zu erhalten bei der Vergleichung desjenigen Materials, welches uns die teleskopische Beobachtung und die Spectralanalyse darbietet.

Diese Fragen sind nämlich einestheils darauf gerichtet, ob die Kometen, wie die Fixsterne und Nebelflecke,

eigenes Licht ausstrahlen, oder gleich den Planeten im reflectirten Lichte der Sonne leuchten, anderntheils auf die stoffliche Zusammensetzung und die physische Constitution derselben. Dass der Kern der Kometen an und für sich kein dunkler und fester Körper sein könne, wie es die Planeten sind, folgt aus seiner grossen Durchsichtigkeit; aber das schliesst nicht aus, dass derselbe aus zahllosen, kleineren oder grösseren getrennten, festen Theilen bestehe, welche einzeln von der Sonne beleuchtet werden und durch den Reflex des Sonnenlichtes in ihrer Gesammtheit auf uns den Eindruck einer zusammenhängenden Masse machen. Wir schliessen daraus, dass die Kometen aus einem Stoffe bestehen, der entweder wie die Gase im höchsten Grade der Verdünnung vollkommen durchsichtig ist, oder aus einzelnen kleinen und unzusammenhängenden festen Körperchen zusammengesetzt ist, die unter sich leere Zwischenräume bilden, durch welche das Licht der Sterne ungehindert durchstrahlt und die, durch die gegenseitige Anziehungskraft und die Attraction eines dichteren Centralconglomerates zusammengehalten, neben einander wie Theilchen einer Staubwolke durch den Weltenraum fliegen. Es ist nicht undenkbar, dass die Kometen ohne Kern Anhäufungen weissglühender Gase sind, von ähnlicher Beschaffenheit wie die Nebelflecke, dagegen diejenigen, welche einen Kern besitzen, aus lockeren Massen bestehen. Jedenfalls zwingt der in der neuesten Zeit von Schiaparelli nachgewiesene Zusammenhang zwischen Kometen und Meteorschwärmen zu der Annahme, dass bei mehreren Kometen ein Gefüge der letzteren Art vorhanden ist.

Man hat geglaubt, dass die Physik in der Polarisation des Lichtes ein Mittel besitze, um zu erkennen, ob das Licht, welches von einem Körper ausgeht, eigenes oder fremdes ist, und hat dann gestützt auf die mit derartigen Instrumenten an den Kometenkernen angestellten Beobachtungen die Behauptung als unzweifelhaft ausgesprochen, dass das Kometenlicht kein eigenes, sondern das reflectirte Sonnenlicht sei. Aber Beobachtungen dieser Art sind durchaus nicht entscheidend, weil in dem genannten Instrumente das unregelmässig zurückgeworfene diffuse Licht ebenso wenig polarisirt erscheint als dasjenige, welches einer selbstständigen Quelle entströmt.

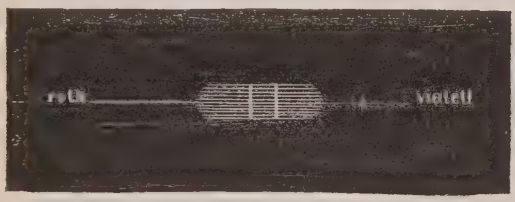
Die Spectralanalyse könnte die Frage bald zur Entscheidung bringen, wenn ein Komet nur so viel Licht zu uns senden würde, als zur Erzeugung eines vollständigen Spectrums erforderlich ist. Wenn nämlich das Kometenlicht nur reflectirtes Sonnenlicht ist, so muss das Spectrum des Kometen, wie das der Planeten und des Mondes, ein mit den Fraunhofer'schen Linien durchzogenes continuirliches Spectrum sein. Aber zur Erzeugung eines solchen Spectrums ist eine sehr feine Spaltöffnung erforderlich, und die in den letzten Jahren beobachteten Kometen hatten zu wenig Licht, als dass bei der Beobachtung ihrer Spectra eine feine Stellung des Spaltes zulässig gewesen wäre. Es bleibt daher von dieser Seite aus die Frage gegenwärtig noch unentschieden.

Donati in Florenz hat zunächst das Licht der Kometen (I. 1864) spectralanalytisch untersucht; er vergleicht das Spectrum desselben mit dem der Metalle, in welchem die dunkeln Theile breiter als die leuchtenden seien, und

betrachtet das ganze Spectrum als aus drei hellen Linien zusammengesetzt.

Secchi und Huggins beobachteten im Januar 1866 den Kometen von Tempel und fanden ein an beiden Enden allmählich verschwindendes continuirliches Spectrum, in welchem Secchi drei, Huggins jedoch nur eine helle Linie sah. Die von beiden Beobachtern geschene Linie war die glänzendste und lag etwa in der Mitte zwischen *b* und *F* des Sonnenspectrums. Fig. 150 zeigt dieses Spectrum nach Secchi keine der drei hellen

Fig. 150.



Spectrum des Kometen von Tempel (1866).

Linien fiel mit denen des Orionnebels zusammen. Es ergiebt sich hieraus, dass das Licht des Kerns wenigstens theilweise selbstleuchtend und die Materie, die ihn bildet, ein glühendes Gas ist. Ausserdem aber zeigt das ununterbrochene Spectrum, dass ein anderer Theil des Lichtes reflectirtes Sonnenlicht ist, da doch nicht angenommen werden kann, dass die Coma aus einer zusammenhängenden festen oder flüssigen glühenden Masse bestehe.

Weder über die Natur noch den Aggregatzustand der Stoffe, welche reflectirtes Licht in das Spectroskop bringen, giebt das Spectrum Auskunft; doch ist es wahrscheinlich, dass die Coma und der Schweif aus demselben Stoffe be-

stehen wie der Kern. Die vorstehenden Beobachtungen geben daher nur das Resultat, dass ein glühendes, leuchtendes Gas auf den Kometen vorhanden ist, dass aber zugleich, sei es von diesem Gase oder von anderen nicht leuchtenden Bestandtheilen des Kometen, das Sonnenlicht reflectirt wird.

In den Jahren 1866 und 1867 beobachtete Huggins die Spectra zweier kleiner Kometen und fand, dass dieselben ebenfalls aus einem ununterbrochenen und einem Linien-Spectrum zusammengesetzt waren. Das Licht dieser Kometen war also wie das des Temple'schen theils reflectirtes Sonnenlicht, theils von der Kometen-Materie ausgestrahltes eigenes Licht.

Das Jahr 1868 brachte die Wiederkehr zweier periodischer Kometen von grösserem Glanze, den Kometen I. von Brorsen und II. von Winnecke.

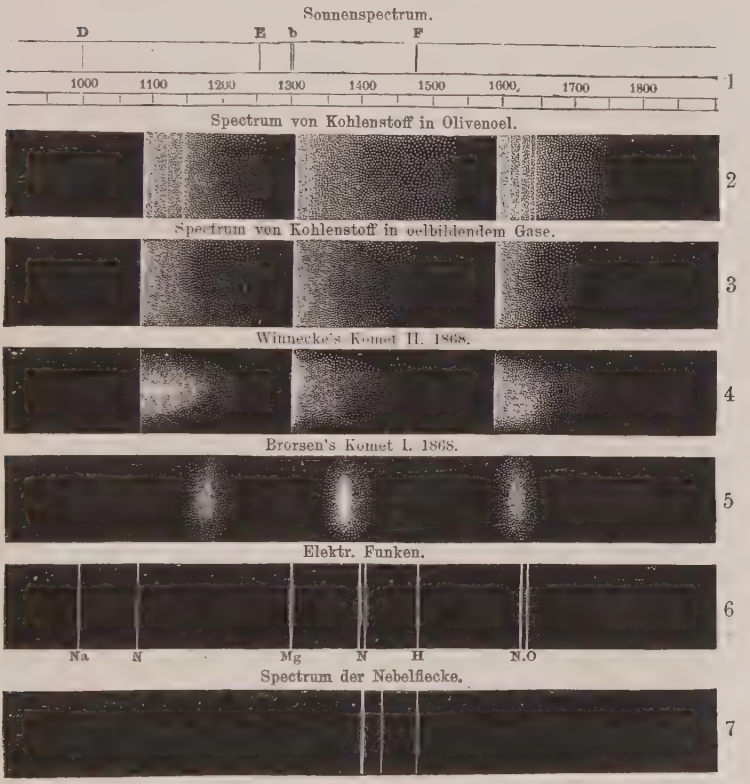
Brosen's Komet (I. 1868) hatte im Teleskope das Aussehen eines fast runden Nebels, in welchem die Helligkeit nach dem Centrum rasch zunahm, aber das Vorhandensein eines eigentlichen Kerns zweifelhaft blieb; auch zeigte sich nur die schwache Spur eines Schweifes, eigentlich nur eine kleine Ausdehnung der Nebelhülle nach der von der Sonne abgekehrten Seite hin.

Secchi untersuchte den Kometen mit dem einfachen, geradlinigen Spectroskope und verglich das Spectrum desselben mit dem der Venus, indem Komet und Planet nach einander an dieselbe Stelle des Suchers gebracht wurden.

Huggins beobachtete denselben vom 2. bis 13. Mai und fand wie Secchi, dass das Spectrum, Fig. 151 Nr. 5, discontinuirlich war und aus drei hellen Banden be-

stand, die zeigten, dass das Licht nicht bloss vom Centrum des Kopfes, sondern auch von der Coma in das Spectroskop drang. Die lebhafteste Lichtzone war die mittlere,

Fig. 151.



Spectra der Kometen von Brorsen und Winnecke verglichen mit den Spectren der Sonne, des Kohlenwasserstoffs und der Nebelflecke.

im Grün, ungefähr in der Mitte zwischen den Fraunhofer'schen Linien *b* und *F*. Wenn der Himmel sehr günstig war, so reducirte sich diese Zone auf eine einfache glän-

zende Linie von der scheinbaren Grösse des Kometenkerns. Weniger intensiv, aber immer noch hell leuchtend war die zweite Zone in dem Gelbgrün, ziemlich in der Mitte zwischen den Fraunhofer'schen Linien *b* und *D;* zuweilen konnte man noch im Roth einen Streifen unterscheiden, aber er war schwer zu fixiren. Die dritte Zone befand sich seitlich vom Blau nach dem Violett hin, ungefähr auf einem Drittel der Entfernung zwischen *F* und *G* von *F* aus.

Ein äusserst schwaches, in der Figur nicht eingetragenes Licht erfüllte gleichzeitig den ganzen Raum des Spectrums, das Anzeichen eines ungemein matten continuirlichen Spectrums.

Durch Verengerung des Spaltes liessen sich diese leuchtenden Bänder nicht in Linien auflösen, wie es der Fall ist mit den hellen Linien der Nebelflecke; die feinere Stellung des Spaltes hatte jedesmal ein Erblassen der Lichtzone bis zum völligen Verschwinden zur Folge.

Das Spectrum des Brorsen'schen Kometen hat grosse Aehnlichkeit mit dem von Donati beobachteten, aber es unterscheidet sich wesentlich sowohl in der Natur, als in der Lage der hellen Lichtzonen von dem Spectrum der Nebelflecke; ein Vergleich dieser beiden Spectra Nr. 5 und Nr. 7 zeigt dieses auf den ersten Blick.

Der Komet II. 1868 wurde zuerst in der Nacht vom 13. auf den 14. Juni 1868 von Winnecke in Karlsruhe beobachtet und strahlte bald in einem solchen Glanze, dass man ihn wie einen Stern 7. bis 8. Grösse mit blossem Auge sehen konnte. Der Durchmesser der Coma betrug mit Einschluss der äussersten, schwach leuchtenden Hülle ungefähr 6 Min. 20 Sec., die Länge des Schweifes über 1 Grad. Letzterer,

Fig. 152, ging scharf von der Coma aus und zeigte keinen Zusammenhang mit dem hellen Kerne; die der Bewegungsrichtung nachfolgende Seite war scharf begrenzt, die andere verlief sich ganz unmerklich in den Himmelsraum.

Fig. 152.

Komet von Winnecke (H. 1868).

Als Secchi am 21. Juni den Kometen mittelst des einfachen teleskopischen Spectroskopes ohne Spalt untersuchte, hatte das Spectrum das Aussehen von 3 lebhaften Lichtzonen, von denen sich die glänzendste wieder im Grün, die andere minder helle im Gelb und die schwächste im Blau befand. Als das Spectroskop mit einem Hofmann'schen geradlinigen vertauscht wurde, erschienen die 3 Zonen sehr scharf und das verwaschene Licht war verschwunden. Bei der Vergleichung der Lage dieser Banden mit den Metallspectren ergab sich, dass die mittlere zwar sehr nahe mit der Magnesiumlinie *b* zusammenfiel, aber das ganze Spectrum doch nicht mit dem eines Metalles verwechselt werden konnte; dagegen erkannte er eine sehr

grosse Aehnlichkeit zwischen dem Spectrum des Kometen und des Kohlenwasserstoffs, was ihn auf die Vermuthung brachte, dass diese Substanz das Selbstleuchten des Kometen verursache.

Huggins hat den Kometen von Winnecke mit einem teleskopischen Spectroskope, bestehend aus zwei Prismen von 60°, untersucht und eine Abbildung des Spectrums sowohl des Kometen, als auch der damit verglichenen Substanzen gegeben. In der Fig. 151 ist Nr. 4 das Spectrum des Kometen, Nr. 2 das des electrischen Funkens in Olivenöl, Nr. 3 des electrischen Funkens in ölbildendem Gase, Nr. 6 giebt die Hauptlinien einiger dem Versuche unterworfener Vergleichsstoffe, wenn sie durch den elektrischen Funken glühend gemacht werden (N = Stickstoff, NO = Stickstoffoxyd, H = Wasserstoff, Mg = Magnesium, Na = Natrium).

Die Beobachtungen Secchi's sind von Huggins vollständig bestätigt worden; das Spectrum des Kometen bestand aus drei breiten, hellen Banden, die an den dem Roth zugekehrten Enden scharf begrenzt erschienen, an den entgegengesetzten Enden aber sich allmählich verliefen; es gelang indessen Huggins nicht, die Banden zu begrenzten Linien zusammenzuziehen, wohl aber schien die mittlere, glänzendste Zone mit einer scharf begrenzten hellen Linie zu beginnen. Wenn der Spalt auf die Randtheile der Coma eingestellt wurde, konnte man die drei Banden immer noch unterscheiden; wenn aber das Spectrum sehr schwach wurde, schien es continuirlich zu werden.

Vergleicht man das Spectrum des Kometen mit dem Spectrum des aus dem Olivenöl oder dem ölbildenden

Gase durch die Hitze des elektrischen Funkens sich ausscheidenden Kohlenstoffs, so ist eine grosse Aehnlichkeit nicht zu verkennen; die Linien des Wasserstoffs, welche in dem Spectrum des Oelgases ausserdem noch vorkommen, waren in dem Spectrum des Kometen nicht vorhanden.

Derselbe Komet ist schliesslich noch von dem Astronomen H. M. C. Wolf in Paris spectroskopisch untersucht worden. Auch dieser Gelehrte fand, dass sich die drei hellen, durch vollkommen dunkle Zwischenräume getrennten Zonen durch Verengung des Spaltes nicht zusammenziehen lassen und daher das Spectrum des Kometen keine Analogie mit dem der Nebelflecke darbiete.

Es würde voreilig sein, wollte man aus diesen zwar umfassenden, aber doch noch vereinzelt dastehenden Beobachtungen allgemein gültige Resultate ableiten. Das Spectrum der drei Lichtzonen rührt ohne Frage von dem Lichte des Kometenkernes und nicht von dem der Nebelhülle her, da letzteres viel zu schwach und unbestimmt ist, um ein solches Spectrum erzeugen zu können; es lässt sich daher wohl annehmen, dass der Kern im eigenen Lichte leuchte und seine Substanz vielleicht glühendes Kohlengas sei. Schon hat Prazmowski gegen diese Schlussfolgerung eingewendet, dass nach seinen Versuchen mit dem Lichte, welches von schwach beleuchteten und gefärbten Papierstreifen reflectirt werde, das Spectrum eines nur schwach von der Sonne beschienenen Körpers genau denselben Anblick darbiete, wie ihn Secchi und Huggins bei den Kometen von 1868 erhalten hätten, dass daher das Bandenspectrum dieser letzteren noch kein Beweis für ihre eigene Lichtentwickelung sei und dass das von

ihren Kernen ausgestrahlte Licht wohl ebenfalls reflectirtes Sonnenlicht sein könne. Secchi behauptet hingegen, dass die schwarzen und leuchtenden Absorptionsstreifen, welche man im Spectrum des reflectirten Lichtes bei gefärbten Substanzen wahrnimmt, niemals jene scharfe Grenze zeigen, welche man bei den Kometen beobachte; auch hätten seine sehr feinen Polarisationsinstrumente eine Polarisation des Lichtes hauptsächlich nur für die Nebelhülle, aber fast gar nicht für den Kern nachgewiesen, der doch, wenn er Sonnenlicht reflectire, am meisten das Licht polarisirt haben müsste.

Halten wir alle diese Erscheinungen zusammen, so können wir uns kaum noch der Ueberzeugung verschliessen, dass der Kometenkern sowohl eigenes Licht, das Licht eines glühenden Gases aussendet, als auch zugleich mitsammt seiner Coma und seinem Schweife im reflectirten Lichte der Sonne gesehen werde. Nichts steht ferner der Annahme entgegen, dass die Hauptmasse des Kometen aus getrennten, durch Zwischenräume von einander entfernten kleinen festen Körpern bestehe, ähnlich wie eine Staub- oder Rauchwolke aus kleinen, locker zusammengefügten festen Partikelchen zusammengesetzt ist, und dass die leicht flüchtigen Bestandtheile dieser kleinen Körper, wenn der Komet sich der Sonne genugsam annähert, sich ganz oder theilweise verflüchtigen, in Dampf aufgehen, weissglühend werden und so die übrigen festen Theile vorübergehend in eine selbstleuchtende Wolke glühenden Dampfes, den Kometenkern, einhüllen. Weitere Aufschlüsse über die physische Natur der Kometen wird uns die Spectralanalyse erst dann zu geben im Stande sein, wenn einmal ein recht glänzender

Komet am Himmel erscheint, bei welchem wir die einzelnen Phasen seines wechselvollen Daseins mit voller Deutlichkeit verfolgen können.

Es würde uns zu weit führen, wenn wir auf die höchst interessanten Erscheinungen näher eingehen wollten, welche das Teleskop über die Absonderung der Kometen-Materie und die allmähliche Bildung von Coma und Schweif darbietet;* aber wir möchten nicht gern stillschweigend vorübergehen an der höchst geistreichen Hypothese, welche Prof. Tyndall vor Kurzem über diesen Gegenstand aufgestellt und am 8. März 1869 der Physikalischen Gesellschaft zu Cambridge vorgetragen hat.** Dieser ausgezeichnete englische Physiker hatte bereits früher in einer Reihe der interessantesten Erscheinungen, wie sie vielleicht von keinen anderen der neueren Physik übertroffen werden, nachgewiesen, dass das concentrirte Sonnen- oder elektrische Licht die flüchtigen Dämpfe vieler Flüssigkeiten zersetzen, fast momentan nebelartige Niederschläge in ihnen erzeugen und Lichterscheinungen eigenthümlicher Art in diesen Wolkengebilden hervorrufen kann. Die Quantität der dabei eintretenden Dämpfe kann so gering sein, dass sie jeder Wahrnehmung entgeht; das auffallende concentrirte Licht bildet sehr bald eine blaue Wolke auf den herumwirbelnden Dampftheilchen, die nun sichtbar sind und je nach der Natur des Dampfes in den mannigfaltigsten Formen als Niederschläge auf den Lichtstrahlen erscheinen.

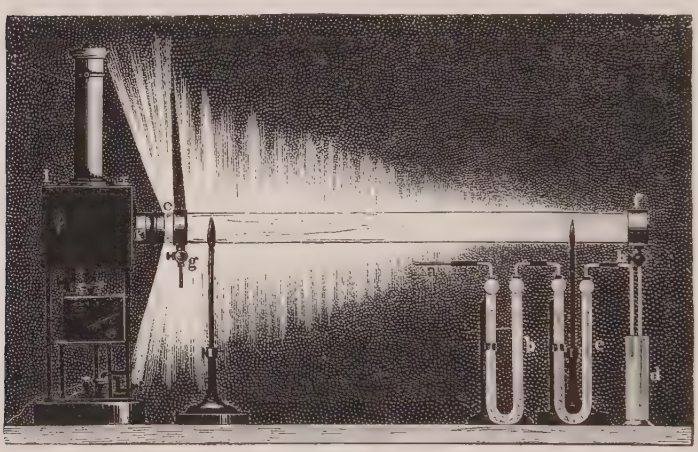
---

* Mädler, „Die Ausströmungen der Kometen," in den Westermann'schen Monatsheften, Bd. VII p. 392.

** Philosophical Magazine. 1869. Nr. 249; Naturforscher, II. Nr. 23.

Eine Abbildung der zu diesen Versuchen erforderlichen Einrichtung wird das Verständniss dieser wichtigen Entdeckung erleichtern. Ein etwa drei Fuss langes und ungefähr drei Zoll weites Glasrohr *ef* (Fig. 153) wird horizontal so vor dem Kopfe *K* einer elektrischen Laterne *l* aufgestellt, dass die Achse des aus der Lampe ausstrahlenden Lichtbündels mit der Achse des Rohres zusammen-

Fig. 153.



Tyndall's actinische Wolken.

fällt. . Das Rohr ist an beiden Enden mit ebenen Glasplatten verschlossen und kann an dem der Lampe zugekehrten Ende durch das Seitenrohr *g* mit einer Luftpumpe, an dem anderen Ende mit demjenigen Gefässe *d*, welches die zu verdampfende Flüssigkeit enthält, in Verbindung gesetzt werden; zwei Hähne *g* und *h* dienen zur Vermittelung dieser Verbindung oder zur Absperrung. Mit demselben oben geschlossenen Gefässe *d* stehen dann noch ein paar

Wasch- und Trockenröhren *b*, *c* in Verbindung, durch welche von *a* her atmosphärische Luft oder andere Gase durch die zu verflüchtigende Flüssigkeit des Gefässes *d* getrieben werden können, um sich mit den Dämpfen derselben zu beladen und diese in jedem beliebigen Grade der Verdünnung in das Untersuchungsrohr *ef* zu bringen.

Wird nun zuerst das Rohr luftleer gemacht und dann der Hahn *h* vorsichtig geöffnet, so dringt über *a*, *b*, *c* und *d* Luft vermischt mit ein wenig Dampf von der in *d* enthaltenen Flüssigkeit in das Rohr ein und kann nun der Einwirkung des durch eine Linse concentrirten elektrischen Lichtes der Laterne ausgesetzt werden.

Höchst auffallend bei diesen Versuchen ist der Umstand, dass auch die allerkleinste Quantität zersetzbaren Dampfes eine ganz erstaunenswerthe Fülle von Licht zu reflectiren vermag. Wenn das elektrische Licht in das Rohr eingelassen wird, ist im ersten Augenblicke darin nichts wahrzunehmen, aber gleich darauf bildet sich eine blaue Wolke der allerkleinsten Partikelchen, sei es des Dampfes selbst oder wahrscheinlicher der durch die Zersetzung desselben frei werdenden Molecüle, und nach wenigen Minuten erscheint das ganze Rohr wie mit einer blauen Materie erfüllt. Die Dampfpartikelchen werden nach und nach grösser und nach einiger Zeit (10—15 Minuten) hat sich eine dichte weisse Wolke im Rohre gebildet, die das Licht in so reichlicher Fülle nach Aussen wirft, dass man geradezu nicht begreifen kann, wie eine so ungemein geringe Quantität materieller Theilchen eine solche Menge Licht zu reflectiren vermag.

Von einem Glühen der Dampftheilchen oder auch nur

einem Erwärmen derselben, wie es in den Geissler'schen Röhren eintritt, wenn der elektrische Strom durch die verdünnten Gase geleitet wird, ist hier gar keine Rede, denn Tyndall verwandte zu seinen Versuchen kalte Lichtstrahlen, die dadurch erhalten werden, dass man das gesammte Licht des elektrischen Flammenbogens durch eine Lösung von Alaun gehen lässt, welche die warmen Strahlen absorbirt und nur die leuchtenden Strahlen fast ungeschwächt hindurchgehen lässt. Tyndall nennt die chemisch wirksamen, die Niederschläge bildenden Strahlen actinische Strahlen. Das Licht, welches aus dem Rohre ausgestrahlt wird, ist daher nicht eigenes Licht der Dampftheilchen, sondern ein Theil des elektrischen Lichtes, welches von den kleinsten Theilchen der Dampfwolke nach Aussen reflectirt wird; in Uebereinstimmung hiermit zeigt sich dann auch das Licht nach einer bestimmten Ebene polarisirt.

Obgleich die Wolke der Dampfpartikelchen im Innern des Rohres hell leuchtet, so ist sie doch zu fein, um das Licht von dahinter gehaltenen Gegenständen wahrnehmbar schwächen zu können; sie erscheint vielmehr vollkommen durchsichtig. Das Licht einer Kerzenflamme verliert nicht das Geringste an Glanz, wenn es durch die leuchtende Wolke des Rohres hindurchscheint. Wenn man ein bedrucktes Blatt Papier so hält, dass es von der Lichtwolke selbst beleuchtet wird, so nimmt man nicht den geringsten Unterschied wahr, ob man den Druck direct oder durch die Lichtwolke hindurch betrachtet.

Nichts kann daher, sagt Tyndall, jenes „geistige Gewebe," welches J. Herschel den Kometen zuschreibt, besser und vollkommener erläutern als diese unter der

Wirkung des concentrirten Lichtes sich bildenden Dampfgewölke, und die angestellten Versuche weisen schlagend nach, dass eine Materie von fast unendlicher Feinheit doch im Stande ist, ein weit intensiveres Licht als das der Kometenschweife zu verbreiten. Das Gewicht der Wolke, welche diese Lichtfülle unserem Auge zusendet, müsste man millionenmal vervielfältigen, um das Gewicht der Luft zu erhalten, in welcher sie schwebt.

Auf Grund dieser wahrhaft erstaunenswerthen Erscheinungen, von denen wir hier nur einen sehr kleinen Theil zur Sprache gebracht haben, unterbreitet Tyndall folgende Ansichten über das Wesen der Kometen der näheren Prüfung der Gelehrten:

1) Ein Komet besteht aus Dämpfen, welche durch das Sonnenlicht zersetzt werden können; der sichtbare Kopf und Schweif ist ein unter der Einwirkung dieses Lichtes durch die Zersetzung entstandenes und leuchtend gewordenes actinisches Wolkengebilde, identisch mit den actinischen Lichtwolken in dem vorhin besprochenen Glasrohre.

2) Der Schweif ist daher nicht eine von dem Kometen ausgeworfene Materie, sondern eine Materie, die sich auf den Sonnenstrahlen bei ihrem Durchgange durch den Kometen selbst niederschlägt. Es kann durch das Experiment nachgewiesen werden, dass diese Niederschläge je nach den Umständen entweder verhältnissmässig langsam den Lichtstrahlen entlang sich bilden, oder auch auf die ganze Länge des Lichtstrahls fast momentan erfolgen. Die erstaunenswerthe Geschwindigkeit, mit welcher sich manchmal die Kometenschweife bilden (bei dem Kometen von 1680

in zwei Tagen auf eine Länge von zwölf Million geographische Meilen) ist nach dieser Anschauungsweise begreiflich, und es verschwindet damit die kaum denkbare Annahme, dass der Komet mit solcher Geschwindigkeit Materie von sich ausstossen sollte.

3) In den verschiedenen Punkten der Kometenbahn ist es nicht dieselbe Materie, welche den Schweif bildet, sondern es wird immer neue Materie auf den Sonnenstrahlen niedergeschlagen, in der Richtung wie diese durch die Kometenmasse hindurchgehen. Damit fällt die kaum begreifliche Vorstellung fort, als müsse der Komet bei seiner schnellen Bewegung in der Sonnennähe den ungeheuern Schweif durch den Weltenraum mitschleppen und diesen in einem enormen Bogen um die Sonne drehen.

4) Der Schweif ist von der Sonne abgekehrt. Um dieses zu erklären, muss man daran denken, dass zweierlei Einwirkungen von Seiten der Sonnenstrahlen auf die Kometenmaterie stattfinden: die eine (actinische) Kraft, welche die leuchtenden Niederschläge bildet, und die andere (calorische) Kraft, welche die Kometenmaterie in Dampf verwandelt. Wo die erstere überwiegt, entsteht die leuchtende (reflectirende) Wolke aus Materie der höchsten Feinheit; wo die letztere überwiegt, bildet sich der durchsichtige Kometendampf. In der Annahme dieser zwei verschiedenen Wirkungen des Sonnenlichtes liegt nichts Hypothetisches; man braucht nur anzunehmen, dass die Wärmestrahlen der Sonne bei dem Durchgange des Lichtes durch den Kern und den Kopf des Kometen mehr absorbirt werden als die actinischen, zersetzenden, Niederschläge bildenden, um sofort zu begreifen, dass dann die actinischen

Strahlen hinter dem Kometenkopfe, also auf der von der Sonne abgekehrten Seite das Uebergewicht haben und nun die actinische Wolke, die den Kometenschweif verursacht, bilden können.

5) Die äusserst feine Materie des Schweifes tritt, wenn sie bei der Fortbewegung des Kometen nicht mehr durch den Kopf desselben geschützt wird, in den Bereich der warmen Sonnenstrahlen, die sie durch ihre Wärme zerstreuen; aber diese Zerstreuung erfolgt nicht plötzlich, sondern nach und nach. Die Neubildung des Schweifes geht schrittweise in der Richtung der Bewegung des Kometen vor sich, während die Zerstreuung der älteren Theile auf der entgegengesetzten Seite erfolgt; der vorangehende Theil des Schweifes erscheint daher scharf begrenzt, der nachfolgende zerfliesst meist unbemerkbar in den Himmelsgrund.

Die Kometentheorie des geistreichen englischen Physikers beruht auf physikalischen Thatsachen und schmiegt sich, ohne jedoch alle Einzelnheiten derselben in genügender Weise zu erklären, ungezwungen an die Haupterscheinungen an, welche diese räthselhaften Himmelskörper darbieten; sie lässt aber auch die andere Annahme neben sich bestehen, dass manche Kometen aus einer Anhäufung von getrennten, durch Zwischenräume von einander geschiedenen, kleinen festen und dunkeln Körpern bestehen, welche gemeinsam neben einander ihren Weg im Weltenraume verfolgen und erst im Reflexlichte der Sonne sichtbar werden, wenn ihre Schaar als Komet der Sonne nahe kommt.

61. Die Sternschnuppen, Meteorschwärme, Feuerkugeln und ihre Spectra.

Wer in einer heiteren Nacht mit einiger Aufmerksamkeit und Geduld den gestirnten Himmel betrachtet, wird ohne Zweifel den Anblick einer Sternschnuppe haben, jenes allgemein bekannten feurigen Meteors, das plötzlich an irgend einer Stelle des Himmels aufblitzt, meist mit grosser Geschwindigkeit vertical oder in schräger Richtung vom Himmel zur Erde herabfährt und nach wenigen Secunden in geringerer oder grösserer Höhe verschwindet. In der Regel können die Sternschnuppen wegen der allgemeinen Tageshelle nur am Abende und während der Nachtzeit wahrgenommen werden; doch giebt es Fälle genug, in denen dieselben mit einem so hohen Glanze am Himmel erscheinen, dass sie am Tage bei bedecktem Himmel, ja sogar bei ganz heiterer Luft gesehen werden. Man berechnet, dass die durchschnittliche Zahl dieser Meteore, welche die Atmosphäre der Erde passiren und hell genug sind, um bei Nachtzeit mit blossem Auge gesehen zu werden, für eine Zeit von vierundzwanzig Stunden nicht geringer als $7^1/_2$ Million ist, und dass diese Zahl unter Zurechnung derjenigen, welche nur mit dem Fernrohre gesehen werden können, auf 400 Million anwächst. In manchen Nächten aber ist die Zahl der feurigen Meteore so gross, dass sie wie Schneeflocken den Himmel durchziehen und während mehrerer Stunden nicht gezählt werden können. Am 12. November 1799 sahen A. v. Humboldt und Bonpland früh Morgens vor Son-

nenaufgang von der mexicanischen Küste aus vier Stunden lang Tausende von Sternschnuppen, die sämmtlich leuchtende Schweife von 5—10 Grad Länge zurückliessen; die meisten derselben verschwanden ohne Funkensprühen, andere schienen zu bersten und noch andere hatten einen grossen, dem Jupiter an Glanz gleichkommenden Kern, aus welchem Funken sprühten. Am 12. November 1833 fielen die Sternschnuppen wieder so dicht, dass nach einer Schätzung Arago's während drei Stunden wenigstens 240,000 am Beobachtungsorte den nächtlichen Himmel durchzogen.

In den wenigsten Fällen erreichen die herabfahrenden feurigen Substanzen die Erdoberfläche, und man nennt sie dann je nach dem Grade ihres Glanzes Sternschnuppen oder Feuerkugeln; zuweilen aber fallen sie zur Erde nieder und treffen ihre Oberfläche, bevor sie vollständig verbrannt oder verdampft sind; man nennt sie dann Meteorsteine, Aerolithen, Meteoreisen. Man unterscheidet ferner zwischen sporadischen Sternschnuppen und Sternschnuppenschwärmen, je nachdem sie vereinzelt in allen möglichen Richtungen den Himmel durchziehen, oder in grösserer Anzahl eine gemeinsame Bahn durchlaufen und sich hierdurch als Theile eines grösseren Ganzen zu erkennen geben.

Es wird jetzt allgemein angenommen, und die neuesten Beobachtungen von Schiaparelli, Le Verrier, Weiss u. A. lassen darüber kaum noch einen Zweifel bestehen, dass diese feurigen Meteore meist sehr kleine, zuweilen aber mehrere Centner schwere fragmentarische, gleich den Planeten um die Sonne sich bewegende Massen sind, die

der Erde in ihrem Laufe um die Sonne nahe kommen, von dieser angezogen werden und bei ihrem Eintritt in die Erdatmosphäre durch den Widerstand und die Reibung der Luft glühend werden und verbrennen.

Die chemischen Analysen derjenigen Meteore, welche bis jetzt als Meteorsteine in theilweise unverbranntem Zustande zur Erde herabgefallen sind, zeigen, dass alle ihre Bestandtheile auch auf der Erde vorhanden sind und dass ihre Elemente in denselben Verbindungen und Formen vorkommen, welche sie auf unserem Erdkörper einzugehen pflegen. Meistens bestehen sie aus metallischem Eisen, untermischt mit verschiedenen Kieselverbindungen; dem Eisen ist stets noch Nickel und zuweilen auch Kobalt, Kupfer, Zinn und Chrom beigemengt; unter den Silicaten ist Olivin besonders bemerkenswerth, ein Mineral, welches sich in vulcanischen Gesteinen häufig vorfindet, sowie Augit. Ausserdem hat man in den bis jetzt untersuchten Meteoriten noch Sauerstoff, Wasserstoff, Schwefel, Phosphor, Kohlenstoff, Aluminium, Magnesium, Calcium, Natrium, Kalium, Mangan, Titan, Blei, Lithium und Strontium gefunden.

Die Höhe, in welcher die feurigen Meteore erscheinen, ist sehr verschieden und variirt meist in den Grenzen von 10 bis 20 geographischen Meilen; im Mittel kann man dieselben zu 15 Meilen annehmen, doch hat man auch Höhen von 62, eine sogar von 293, andererseits aber auch von 1 bis 3 geographischen Meilen beobachtet. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich dieselben bewegen, ist ebenso verschieden, und im Allgemeinen die anderthalbfache unserer Erde bei ihrem Umlaufe um die Sonne

oder 6 geographische Meilen in der Secunde; doch weichen die Maxima und Minima bedeutend hiervon ab, indem die Beobachtungen und Rechnungen für einige derselben nur eine Geschwindigkeit von $3^1/_2$, für andere dagegen von $23^3/_4$ geographische Meilen ergeben haben.

Wenn ein solcher dunkler Meteorit mit einer mittleren Geschwindigkeit von 360 geographischen Meilen pro Minute der Erde begegnet, die selbst mit einer mittleren Geschwindigkeit von 246 geographischen Meilen durch den Weltenraum fliegt, und seine Geschwindigkeit durch die Anziehung der Erde noch um mindestens 50 geographische Meilen pro Minute vergrössert wird, so findet dieser Körper selbst in den äussersten und dünnsten Luftschichten der Erde einen solchen Widerstand, dass er in seiner Bewegung aufgehalten wird und er in kürzester Zeit einen bedeutenden Theil seiner lebendigen Kraft verliert. Es tritt dabei dasselbe ein, was überall da erfolgt, wo ein in Bewegung befindlicher Körper gehemmt wird. Wenn ein Rad sehr schnell umläuft, so erhitzt sich die Achse oder der Bremsring, der um dasselbe gelegt wird, durch die Reibung bis zur Rothgluth. Wenn eine eiserne Kanonenkugel mit sehr grosser Geschwindigkeit plötzlich gegen eine eiserne Platte anprallt, wie es bei den Schiessversuchen geschieht, so sieht man selbst bei Tage einen Feuerschein aus der Kugel hervorschiessen. Die Wärme eines Körpers besteht nämlich in schwingenden Bewegungen seiner kleinsten Massentheilchen; eine Zunahme dieser Molecularbewegung ist gleichbedeutend mit erhöhter Wärme; nimmt die vibrirende Bewegung der Molecüle ab, so nennen wir diese Erscheinung verminderte Wärme oder Ab-

kühlung. Stösst nun ein in Bewegung befindlicher Körper, z. B. die Kugel gegen die eiserne Platte, oder der Meteorit gegen die Luft der Erdatmosphäre, so wird in demselben Maasse, wie die Bewegung des Körpers abnimmt und die äussere Arbeit der Massenbewegung verschwindet, durch den Druck des widerstehenden Mittels auf die vorderen Molecüle die Bewegung dieser letzteren vergrössert; die vorderen Molecüle, welche den Anprall erleiden, theilen ihre Bewegung sofort den übrigen Molecülen des Körpers mit; alle Massentheilchen beschleunigen ihre anfängliche Bewegung und die Temperatur des Körpers nimmt zu. Man pflegt diese Erscheinung, die überall auftritt, wo die Bewegung einer Masse abnimmt, mit dem Ausdruck der Umwandlung einer Massenarbeit in Molecülarbeit oder in Wärme zu bezeichnen; in der That tritt ohne Ausnahme da, wo die äussere Arbeit der Masse verschwindet, an ihre Stelle eine innere Arbeit der Massentheilchen oder die Wärme als Aequivalent auf, und es lässt sich leicht berechnen, dass bereits in den höchsten und dünnsten Luftschichten der Erdatmosphäre der Widerstand der Luft die Anfangsgeschwindigkeit der Meteorite sehr rasch vermindert und daher dieselben kurz nach ihrem Eintritte in die Atmosphäre ihre innere Molecülbewegung bis zu dem Grade beschleunigen, dass sie weissglühend werden, theilweise schmelzen oder, wenn sie klein genug sind, ganz in Dampf aufgehen und einen Schweif von glühenden Dämpfen hinter sich zurücklassen.

Haidinger hat in einer alle Einzelerscheinungen der Meteorite zusammenfassenden Theorie die Bildung einer Feuerkugel um das Meteor dadurch erklärt, dass der

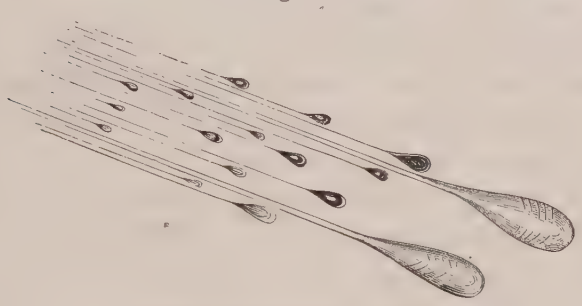
Meteorit in Folge der grossen Geschwindigkeit, mit welcher er in die Erdatmosphäre eindringt, die Luft vor sich bis zum Glühen und Leuchten zusammenpresst. Die so comprimirte Luft fliesst dann nach allen Seiten, besonders aber über die Oberfläche des Meteors nach hinten ab, wo sie einen birnförmigen, vom Meteoriten eben verlassenen leeren Raum umschliesst und dem Beobachter als feurige Kugel erscheint. Wenn auf diese Weise mehrere Körper zugleich in die Atmosphäre der Erde eindringen, nimmt der grösste derselben die vorderste Stelle ein, weil der Widerstand der Luft für seine verhältnissmässig kleinste Oberfläche am geringsten ist, und die übrigen lagern sich an diesen Leitstein, der dann allein eine Feuerkugel erzeugt. Wenn durch den Widerstand der Luft die kosmische Geschwindigkeit des Meteoriten ganz aufgehoben ist, steht derselbe für einen Augenblick still; die Feuerkugel erlischt, in den hinter derselben befindlichen leeren Raum stürtzt plötzlich die umgebende Luft zusammen und der Meteorit, nunmehr der blossen Wirkung der Schwerkraft unterliegend, fällt in verticaler Richtung zur Erde nieder. Die heftigen Detonationen, unter denen diese Erscheinungen nicht selten vor sich gehen, finden ihre Erklärung hinreichend in dem heftigen Zusammenschlagen der Luft hinter dem Meteore, und es scheint die früher oft gemachte Annahme, dass der donnerartige Knall, welcher nicht selten das Herabfallen der Meteorsteine begleitet, von einer Explosion oder einem Zerspringen derselben herrühre, sich nicht zu bestätigen.

Schon der Umstand, dass die meisten Sternschnuppen erlöschen, bevor sie die Erdoberfläche erreicht haben,

deutet darauf hin, dass ihre Masse gering ist. Kennt man von einer Sternschnuppe die Entfernung von der Erde und den scheinbaren Glanz, z. B. im Vergleiche mit dem Glanze eines Planeten, so kann man aus ihrer Leuchtkraft durch Vergleichung mit der Leuchtkraft einer bestimmten Quantität eines brennenden und leuchtenden Gases die Wärme berechnen, welche durch die Verbrennung des Meteors erzeugt wird. Da aber diese Wärme aus der durch den Luftwiderstand gehemmten und aufgehobenen Bewegung der Sternschnuppe herrührt, diese Bewegung aber oder die lebendige Kraft des Meteors ausschliesslich von der Geschwindigkeit und der Masse desselben abhängt, so kann man hieraus, wenn die Geschwindigkeit durch die directe Beobachtung bekannt ist, auf die Grösse der Masse schliessen. A. Herschel hat auf diesem Wege gefunden, dass bei den Sternschnuppen vom 9. und 10. August 1863, welche den Glanz der Venus und des Jupiter hatten, die Masse 2000 bis 3000 Gramm (4 bis 6 Pfund), dagegen bei solchen, die den Glanz der Sterne zweiter bis dritter Grösse haben, die Masse nur 6 Gramm ($^1/_{16}$ Loth) beträgt. Da der grösste Theil der Sternschnuppen einen geringeren Glanz als den der Sterne zweiter Grösse hat, so werden die kleineren Meteore nur Bruchtheile eines Gramm wiegen, wie denn auch Herschel bei fünf Meteoren des 12. November 1865, sämmtlich erster Grösse und mehr, das mittlere Gewicht zu 0,36 Gramm fand, und auch Schiaparelli aus anderen Erscheinungen das hypothetische Gewicht einer Sternschnuppe zu 1 Gramm ableitet. Bei den zur Erde gelangenden Meteorsteinen aber ist die Masse natürlich bedeutender, sei es dass das Meteor bloss aus einem

einzelnen Stücke besteht, wie das bekannte 1600 Pfund schwere „Eisen des Pallas," oder dass es eine aus vielen kleineren Massen bestehende kosmische Wolke ist, deren Bestandtheile, wie Fig. 154 zeigt, in parallelen Bahnen gemeinsam in die Erdatmosphäre eindringen und durch ein gleichzeitiges Aufleuchten und Niederfallen zur Erde den Anblick gewähren, als ob ein einzelnes Meteor in mehrere kleinere zersprungen sei. Ein solcher Steinregen fand unter einer starken Lichterscheinung und heftiger Deto-

Fig. 154.



Feuerkugel, im Teleskope beobachtet.

nation am 26. April 1803 zu l'Aigle in der Normandie statt, wobei die Zahl der aufgefundenen Steine in einem Umkreise von drei Quadratmeilen über 2000 betrug. Bei dem Steinregen, der sich am 9. Juni 1866 zu Kúyahinga in Ungarn zutrug, hatte die Hauptmasse ein Gewicht von 600 Pfund und war begleitet von ungefähr 1000 kleineren Steinen, die auf einem Umkreise von 2 Meilen Länge und $^3/_4$ Meile Breite zerstreut gefunden wurden.

Man darf jedoch nicht glauben, dass die Dichtigkeit solcher kosmischer Gewölke, so lange sie noch ausser dem

Bereiche der Anziehungskraft der Sonne und der Erde sind, ebenso gross ist, als in dem Augenblicke, wo ihre Theile zur Erde herabfallen. Schiaparelli berechnet aus der beobachteten Zahl der alljährlich im Monate August erscheinenden Sternschnuppen, dass der Raum zwischen je zwei derselben im Durchschnitt hundert Meilen beträgt. Da sich nun die kosmischen Gewölke, welche die Sternschnuppen liefern, wenn sie auf ihrer Wanderung aus den entlegensten Theilen des Weltenraumes der Sonne nahe kommen, millionenmal verdichten, so erweitert sich der Raum zwischen je zwei ein Gramm wiegenden Meteoren in der noch nicht verdichteten kosmischen Wolke auf zehntausend geographische Meilen.

Das grossartigste Beispiel von solchen, aus einzelnen kleinen Körpern bestehenden kosmischen Wolken, in denen die Einzeltheilchen nur höchst lose zusammenhangen und so gut wie gar nicht mit einander in Verbindung stehen, bieten die sogenannten Meteorschwärme, insbesondere der August- und der November-Periode. Es ist eine bekannte Thatsache, dass in gewissen Nächten des Jahres die Zahl der Sternschnuppen eine ausserordentlich grosse ist und dass dieselbe zu diesen Zeiten stets aus ganz bestimmten Stellen des Himmelsgewölbes hervorschiessen; der Sternschnuppenschwarm, der in jedem Jahre in der Nacht vom 10. August aus dem Sternbilde des Perseus kommt, findet sich schon in alten Schriften mehrfach erwähnt. Der Schwarm des 12. und 13. Novembers tritt nach je $33^1/_4$ bis $33^1/_3$ Jahren jedesmal drei Jahre nach einander mit abnehmender Stärke auf; er ist es, den A. v. Humboldt und Bonpland am 12. November 1799 als einen

wahren Feuerregen beobachteten, der am 12. November 1833 in solcher Stärke wiederkehrte, dass Arago das Schiessen der Sternschnuppen mit dem Fallen von Schneeflocken verglich, und der neuerdings in alter Pracht am 14. November 1867 in Nordamerika aufgetreten ist. Ausser diesen beiden Hauptmeteorschwärmen kennt man deren noch nahezu hundert andere, die in regelmässigen Perioden wiederkehren; ein jeder von ihnen ist eine kosmische, aus einzelnen kleinen dunkeln Körpern bestehende Wolke, deren Theilchen nur lose mit einander verbunden, wie die Theilchen einer Sandwolke, eine gemeinsame Bahn um die Sonne verfolgen. Die Bahnen dieser Meteorströme sind sehr verschieden; sie liegen durchaus nicht, wie die unserer Planeten, nahezu in einer Ebene, sondern durchkreuzen die Ebene der Erdbahn unter den verschiedensten Winkeln. Die Bewegung der einzelnen Meteorite erfolgt in einer und derselben Bahn in gleicher Richtung; aber diese Richtung ist bei einigen Bahnen dieselbe, bei anderen dagegen die entgegengesetzte, als die der Erde und der übrigen Planeten.

Die Erde nimmt bei ihrem Umlaufe um die Sonne mit jedem Tage eine andere Stelle im Weltenraume ein; wenn daher in regelmässiger Wiederkehr zu einer gewissen Zeit ein Sternschnuppenschwarm durch unsere Atmosphäre hindurchzieht, so muss an der Stelle, wo sich zu dieser Zeit die Erde befindet, eine Ansammlung solcher kleiner kosmischer Körper vorhanden sein, die von der Erde angezogen in ihre Atmosphäre eindringen, durch die Verdichtung der Luft sich entzünden und als Sternschnuppen sichtbar werden. Eine kosmische Wolke aber kann in unserem

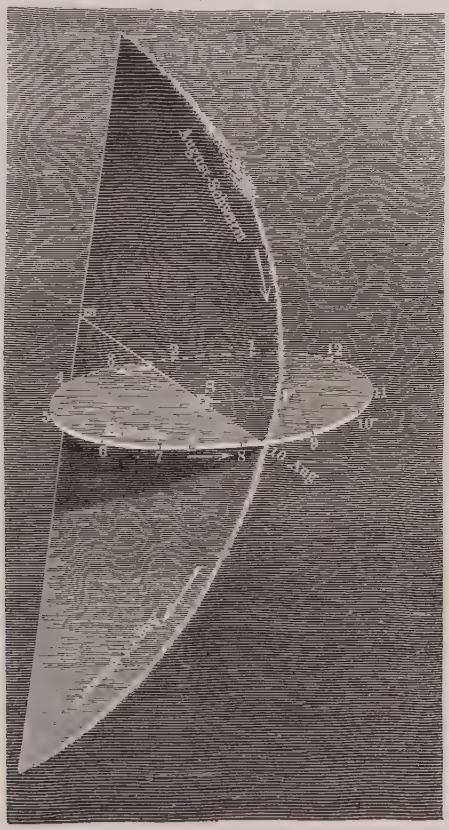
Sonnensysteme unmöglich an derselben Stelle verharren, sondern muss sich, wie die Planeten und die Kometen, um die Sonne bewegen; woraus dann folgt, dass die Bahnen eines periodischen Sternschnuppenschwarms und der Erde sich kreuzen und die Erde zu der Zeit, wo der Schwarm uns erscheint, durch denselben hindurch-, oder an demselben sehr nahe vorbeigehen muss.

Der Sternschnuppenschwarm vom 10. August (auch Laurentiusstrom oder die Perseiden genannt, weil die Schnuppen aus dem Sternbilde des Perseus zu kommen scheinen) zeigt sich fast alle Jahre und zwar in den einzelnen aufeinanderfolgenden Jahren in verschiedener Stärke; es folgt daraus, dass die kleinen Meteore, welche diesen Schwarm bilden, in einem geschlossenen Ringe um die Sonne laufen und die Erde jedesmal am 10. August sich an der Stelle befindet, wo dieser Ring die Erdbahn schneidet; es folgt ferner daraus, dass die Bahn dieser Meteore nicht an allen Stellen gleichmässig mit Körperchen besetzt ist, dass er dichtere und lockere, vielleicht sogar leere Stellen hat, auf denen sich gar keine Meteorkörnchen befinden.

Die Fig. 155 zeigt ein sehr kleines Stück der elliptischen Bahn, welche diese meteorische Masse um die Sonne *S* beschreibt. Diese Bahn trifft am 10. August mit der Erde zusammen und die letztere geht daher zu dieser Zeit dicht an den Meteormassen, welche sich in dieser Bahn bewegen, vorbei. Unter den in dieser Bahn angedeuteten Pünktchen hat man sich die dunkeln kleinen Meteorkörperchen vorzustellen, welche, wenn sie sich in der Erdatmosphäre entzünden, zu leuchtenden Sternschnuppen werden. Die Linie *m* ist der Durchschnitt der Meteor-

bahn mit der Erdbahn; die Linie PS bildet die Richtung der grossen Achse dieser Bahn. Dieselbe ist fünfzigmal so gross, als der mittlere Halbmesser der Erdbahn; der

Fig. 155.



Bahn des Meteorschwarms vom 10. August (Laurentiusstrom).

Neigungswinkel der Meteorbahn gegen die Erdbahn beträgt 64 Grad 3 Minuten und die Bewegung der Meteorite ist derjenigen der Erde entgegengesetzt oder rückläufig.

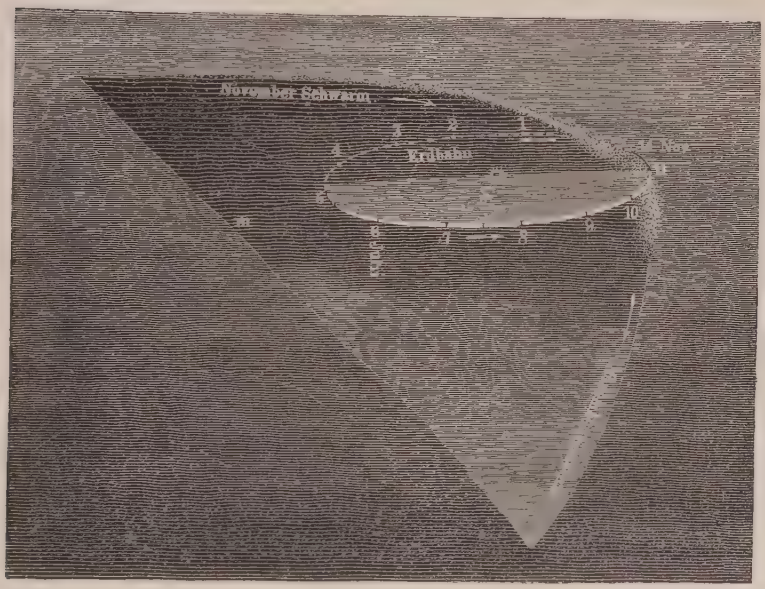
Bei dem Novemberschwarme beobachtet man zwar nicht in jedem Jahre am 12. oder 13. November eine bedeutende Anzahl von Sternschnuppen, dafür aber nach je $33^1/_3$ Jahren eine ungewöhnlich grosse Anzahl derselben, die zumeist von einem Punkte im Sternbilde des Löwen (daher auch Leoniden genannt), auszugehen scheinen. Die Meteore dieses Schwarms, welche sich ebenfalls um die Sonne bewegen, sind daher nicht wie die Perseiden über die ganze Bahn zerstreut und bilden in ihrer Gesammtheit nicht einen von Meteormasse ganz erfüllten Ring, sondern einen dichten, nur wenig in die Länge gezogenen Schwarm, der $33^1/_3$ Jahre zu seinem Umlaufe um die Sonne gebraucht und dessen Bahn die Erdbahn in demjenigen Punkte schneidet, in welchem sich die Erde gegen den 13. November befindet.

Wenn nach je $33^1/_3$ Jahren der Novemberschwarm erscheint, so wiederholt sich die Erscheinung des Sternschnuppenregens um den 13. November drei Jahre nach einander, aber in abnehmender Stärke; der Schwarm von Meteorkörperchen hat daher eine solche Ausdehnung in seiner Bahn, dass er drei Jahre gebraucht, um die Stelle zu passiren, wo sich gegen den 13. November die Erde befindet; ausserdem ist er nicht an allen Stellen gleich dicht mit Körpern besetzt; der vorangehende Theil ist dichter als die nachfolgenden.

Die Fig. 156 zeigt ein sehr kleines Stück der elliptischen Bahn und die Massenvertheilung des Novemberschwarms. Wie die Figur zeigt, schneidet diese Bahn die Erdbahn an der Stelle, wo sich die Erde gegen den 14. November befindet, und die Bewegung der Meteorite, die

bloss auf einer kleinen Strecke der Bahn sehr ungleich vertheilt sind, erfolgt entgegengesetzt der Bewegung der Erde oder ebenfalls rückläufig. Die Neigung dieser Bahn gegen die Erdbahn beträgt nur 17 Grad 44 Min.; ihre grosse Achse ist ungefähr $10^1/_3$ mal so gross als der Durch-

Fig. 156.



Bahn des November-Meteorschwarms.

messer der Erdbahn; die Umlaufszeit des dichtesten Theiles der Meteorite um die Sonne S beträgt 33 Jahre 3 Monate.

Aus dem, was wir bis jetzt über die Natur und die stoffliche Zusammensetzung der Kometen, der Nebelhaufen, der kosmischen Wolken und der Meteorschwärme gesagt haben, ergiebt sich eine unverkennbare Aehnlichkeit zwi-

schen diesen verschiedenen Gebilden des Weltenraums. Die Verwandtschaft zwischen Kometen und Sternschnuppen wurde schon von Chladni erkannt; aber erst Schiaparelli in Mailand umfasste alle Erscheinungen, welche diese bis dahin so räthselvollen Himmelskörper darbieten, und bewältigte die massenhaften Beobachtungen und Berechnungen, welche insbesondere von Oppolzer, Peters, Bruhns, Heis, Le Verrier u. A. im Laufe der neueren Zeit geliefert worden sind, mit einem durchdringenden Scharfsinne und einem seltenen Erfolge. Er zeigt nicht bloss, dass die Bahnen der Sternschnuppenschwärme mit denen von Kometen vollständig übereinstimmen, dass die Meteorschwärme nichts anderes sind, wie Kometen, und ein und derselbe Himmelskörper von der Erde bald als Komet, bald als Sternschnuppenschwarm beobachtet wird, sondern er beweist auch durch einen höchst eleganten mathematischen Calcül, dass lockere im Weltenraume weit ausgebreitete kosmische Massen, welche wir unter dem Namen der Nebelhaufen kennen gelernt haben, sich zu Kometen, und diese wieder zu Sternschnuppenschwärmen ausbilden müssen, wenn sie auf ihrer Reise durch das Universum in den Bereich der Anziehungskraft der Sonne kommen.

Wir würden uns von unserm eigentlichen Gegenstande zu weit entfernen, wenn wir auf diese ebenso kühne als geistreiche, aber durch eine Reihe von Thatsachen gestützte Erklärung des Mailander Astronomen näher eingehen wollten; indem wir daher auf den 20. Band der „Naturwissenschaftlichen Volksbücher von A. Bernstein“ verweisen, in welchen „die Räthsel der Sternschnuppen und der Kometen“ auf eine ebenso klare und ausführliche,

als anziehende Weise behandelt sind, beschränken wir uns auf folgende kurze Darstellung der Theorie Schiaparelli's.

Die Nebelflecke bestehen aus kosmischer Materie, die noch keinen Concentrationspunkt in sich gefunden und sich noch nicht zu einem Weltkörper im eigentlichen Sinne des Wortes verdichtet haben. Das Gefüge dieser kosmischen Gewölke ist noch sehr lose, ihre Theilchen stehen noch weit von einander ab und so bilden sie Massen von ungeheurem Umfange, von denen einige bereits eine regelmässige Gestalt angenommen haben, andere nicht. Da sowohl diese Nebelwolken, als auch unsere Sonne sich im Weltenraume bewegen, so wird sich nicht selten der Fall ereignen, dass eine solche Wolke in den Bereich der Anziehungskraft der Sonne kommt. Die Anziehung wirkt auf den vorangehenden Theil des Nebels bedeutend stärker als auf die entfernteren hinteren Theile; die kosmische Wolke fängt schon in sehr weiter Ferne an, ihre ursprüngliche Kugelgestalt zu verlieren und sich zu einem länglich gestalteten Körper auszubilden. Dem zuerst angezogenen vorderen Theile der Nebelmasse folgen andere beständig nach und die Kugel wird zu einem langgestreckten Cylinder, in welchem der vordere, nach der Sonne gerichtete Theil sich immer mehr verdichtet und zuspitzt, während das hintere Ende noch zum Theil die ursprüngliche Breite beibehält. Mit der grösseren Annäherung an die Sonne vollzieht sich diese Umformung der Nebelwolke immer entschiedener; von der Sonne beleuchtet erscheint uns der voranschreitende Theil als dichter Kern, die übrige, von der Sonne abgewendete nachfolgende Masse aber als ein

langgestreckter auseinandergehender Schweif, gebogen, weil während des ganzen Vorganges der Nebel sich seitwärts bewegt. Aus dem ursprünglich kugelförmig gestalteten Nebelfleck, der nicht zu unserm Sonnensystem gehörte, ist ein Komet entstanden, der nun als neugebildeter Weltkörper vorübergehend oder dauernd dem Sonnensysteme angehört. Die Gestalt der Bahn, in welcher sich derselbe bewegt, hängt ab von der Entfernung, der ursprünglichen Geschwindigkeit der kosmischen Wolke und von der Richtung ihrer Bewegung und kann daher sowohl elliptisch, als auch hyperbolisch und parabolisch werden; in den beiden letzteren Fällen erscheint der Komet nur ein einziges Mal in unserem Sonnensysteme, um sich dann wieder in die ungemessenen Fernen des Weltenraumes zu begeben; in dem ersteren Falle aber bürgert sich derselbe bei uns ein und vollendet gleich den Planeten in einer bestimmten Reihe von Jahren seinen Umlauf um die Sonne. Es erklärt sich hieraus von selbst, dass die Bahnen der Kometen alle nur denkbare Lagen gegen die Erdbahn haben und die Richtung ihrer Bewegung bald rechtläufig, bald rückläufig ist.

Das Schicksal des kosmischen Nebels ist aber mit seiner Umgestaltung zu einem Kometen noch nicht zu Ende. Schiaparelli weist schlagend nach, dass, da der Komet nicht ein Körper von festem Gefüge ist, vielmehr seine einzelnen Theile gegen einander verschiebbar sind, der der Sonne nähere Kopf oder der Kern nothwendig einen schnelleren Umlauf um die Sonne machen muss als die entfernteren Theile des Schweifes. Letzterer wird daher bei dem Umlaufe des Kometen um die Sonne hinter dem Kerne zurückbleiben; der Komet wird sich immer mehr in die Länge

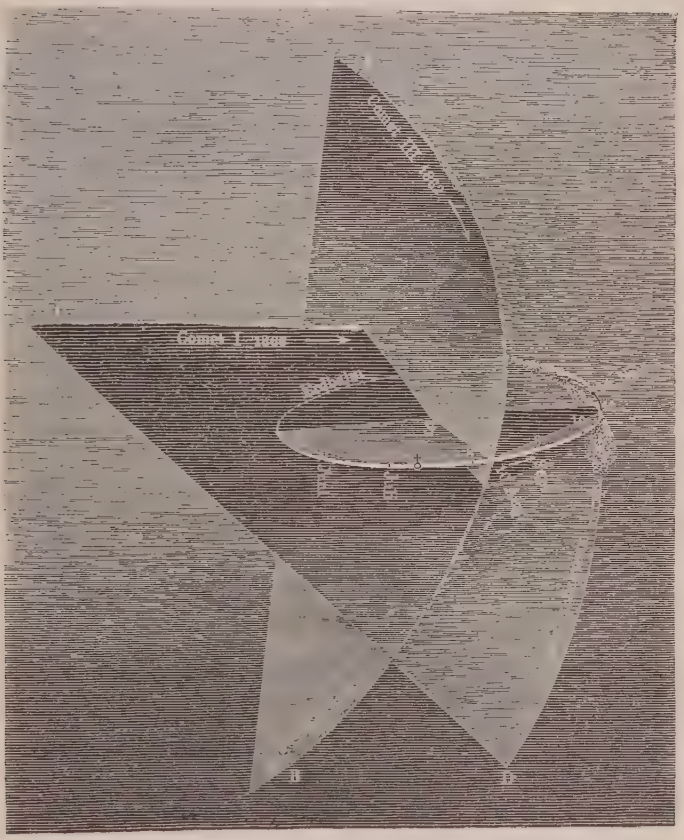
ausdehnen und zuletzt sich theilweise oder ganz in einen meteorischen Ring um die Sonne auflösen. Die ganze Bahn des Kometen füllt sich auf diese Weise nach und nach mit zertheilter Kometenmasse, mit jenen kleinen dunkeln Meteorkörperchen an, welche, wenn sie durch die Erdatmosphäre ziehen, glühend werden und als Sternschnuppen erscheinen. Statt des Kometen rotirt nun ein gewaltiger, breiter Ring von Meteorsteinen um die Sonne, der die Erscheinungen darbietet, wie wir sie an den August-Meteoren alljährlich wahrnehmen. Ob dieser meteorische Ring in sich geschlossen und die Meteormasse über die ganze Bahn des ursprünglichen Kometen zerstreut ist, oder ob die einzelnen Meteorkörperchen, wie bei dem Novemberschwarme, die ganze Bahn noch nicht gleichmässig ausfüllen und dann noch theilweise die Form des Kometen haben, ist bei der Umgestaltung des kosmischen Nebels durch die Sonne nur eine Frage der Zeit; im Laufe der Jahre muss sich die Materie eines Kometen, der eine geschlossene Bahn um die Sonne beschreibt, über die ganze Bahn zerstreuen; geht er anfänglich in einer Ellipse um die Sonne, so wird aus ihm nach und nach ein elliptischer Ring von Meteormasse von der Grösse und Gestalt der ursprünglichen Bahn.

Schiaparelli hat in der That zwischen den Bahnen des August-Meteorringes und des Kometen 1862 Nr. III eine so grosse Uebereinstimmung gefunden, dass an einer völligen Identität beider nicht gezweifelt werden kann. Die Vertheilung der Meteormasse auf der ganzen Bahn des Meteorschwarmes, der uns die Sternschnuppen in der Nacht des 10. August zuführt, ist nicht an allen Stellen eine

gleichmässige; es lässt sich auf derselben die dichtere Anhäufung der Meteorkörperchen des früheren Kometenkerns von der weniger dichten des übrigen Theiles immer noch unterscheiden; und so sahen wir diese verschieden dichten Theile des Meteorringes, durch welchen alljährlich am 10. August die Erde hindurchgeht und der zu dieser Zeit den reichlichen Sternschnuppenfall verursacht, im Jahre 1862, wo seine dichteste Stelle im Monat August der Sonne und der Erde nahe kam, in der Gestalt eines Kometen mit Kopf und Schweif. Oppolzer in Wien berechnete die Bahn dieses mit unbewaffnetem Auge sichtbaren Kometen mit grosser Genauigkeit; Schiaparelli hatte andererseits aus den Bahnen der in der Nacht des 10. August fallenden Sternschnuppen die Bahn des grossen Ringes berechnet, in welchem sich diese Meteorite, bevor sie von der Erde angezogen sind, bewegen; die fast gänzliche Uebereinstimmung beider Bahnen berechtigte Schiaparelli zu dem epochemachenden Ausspruche: Der Komet von 1862 Nr. III ist nichts anderes als der noch vorhandene Rest des Kometen, aus welchem sich im Laufe der Zeiten der Sternschnuppenring vom 10. August gebildet hat. Der Unterschied zwischen dem Kometenkopf und seinem zum Ring gewordenen Schweife besteht für uns nur darin, dass der noch aus dichterer Meteormasse bestehende Kopf stets nach circa 120 Jahren der Erde so nahe kommt, dass er im Reflexlichte der Sonne sichtbar wird, während der ringförmige, viel lockerere Schweif selbst dann noch unsichtbar bleibt, wenn die Erde in der Nacht des 10. August jährlich durch ihn hindurchzieht. Nur die einzelnen Bestandtheile dieses Ringes,

die dunkeln Meteorkörperchen, die ihn zusammensetzen, werden als Sternschnuppen sichtbar, wenn sie von der

Fig. 157.



Die Bahnen der August- und November-Meteorschwärme. (Bahnen der Kometen III. 1862 und I. 1866.)

Erde angezogen in unsere Atmosphäre eindringen und sich durch die Reibung und den Widerstand der Luft bis zum Glühen erhitzen.

Die Rechnung ergiebt, dass dieser Meteorring circa 2340 Million Meilen lang ist. Da der Sternschnuppenfall am 10. August ungefähr 6 Stunden dauert, die Erde aber in jeder Secunde an 4 Meilen zurücklegt, so folgt daraus, dass die Dicke des Ringes an der Stelle, wo die Erde durch ihn hindurchgeht, an 864,000 Meilen beträgt. Die Fig. 157 zeigt in *AB* den in der Sonnennähe befindlichen Theil der Bahn des Kometen III 1862, welche mit der des Augustschwarms (Fig. 155) identisch ist.

Auch für den Novemberschwarm haben die Rechnungen von Schiaparelli, Oppolzer, Peters und Le Verrier den erzeugenden Kometen an das Tageslicht gebracht; es ist der von Tempel in Marseille zuerst beobachtete kleine Komet, der mit 1866 Nr. I bezeichnet wird. Seine Umgestaltung zu einem Meteoritenringe ist bei weitem nicht so weit vorgeschritten, wie es bei dem Kometen 1862 Nr. III der Fall ist; seine Existenz ist viel jüngeren Datums und daher die Zerstreuung seiner meteorischen Masse über die Bahn hin und die damit verbundene Ringbildung noch wenig entwickelt.

Nach Le Verrier drang ein kosmischer Nebelfleck im Januar des Jahres 126 aus fernem Weltenraume in das Sonnensystem ein und kam auf seiner Wanderung dem Planeten Uranus so nahe, dass er durch die Anziehungskraft des letzteren in eine elliptische Bahn um die Sonne gebracht wurde. Diese Bahn ist eben die, in welcher der von Tempel entdeckte und von Oppolzer berechnete Komet noch heute einherwandelt; es ist aber auch dieselbe, in welcher sich der November-Sternschnuppenschwarm bewegt.

Seit jenem Jahre hat die zum Kometen umgestaltete kosmische Wolke bis jetzt 52 Umläufe um die Sonne gemacht, ohne dass man von ihm etwas wusste, als dass er der Erde bei jedem Umlaufe oder etwa alle $33^3/_4$ Jahre im November, wo sie seine Bahn kreuzt, zahllose Bestandtheile als Sternschnuppen abgab. Erst bei seinem letzten Umlaufe im Jahre 1866 hat man diese nunmehr dem Sonnensysteme angehörige meteorische Wolke als Komet beobachtet.

Die Bahn dieses Kometen ist weit kleiner als die der Augustmeteore und reicht in der Sonnenferne bis zur Uranusbahn, während die Sonnennähe fast eben so gross ist wie die Entfernung der Erde von der Sonne. Er vollendet seinen Umlauf in circa 33 Jahren und 3 Monaten und begegnet, wenn er sich der Sonne nähert, der Erdbahn gegen Ende September. Hinter ihm her aber zieht ein gewaltiger Schwarm von kleinen Meteorkörperchen als sehr breiter und langer Schweif, durch welchen die Erde am 13. November hindurchgeht. Diejenigen dieser Körperchen, welche dabei dem Fluge der Erde begegnen oder zu nahe kommen, dringen, von ihr angezogen, in die Atmosphäre ein, erglühen und werden uns als Sternschnuppen sichtbar. Aus dem Umstande, dass die Erde in drei aufeinander folgenden Jahren dem vorüberziehenden Kometenschweife oder dem Meteorschwarme an derselben Stelle begegnet, muss man schliessen, dass derselbe die ungeheure Länge von 380 Million Meilen hat. Die Fig. 157 zeigt in *CD* den in der Sonnennähe befindlichen Theil der Bahn dieses Kometen, welche mit der Bahn der November-Meteore (Fig. 156) identisch ist.

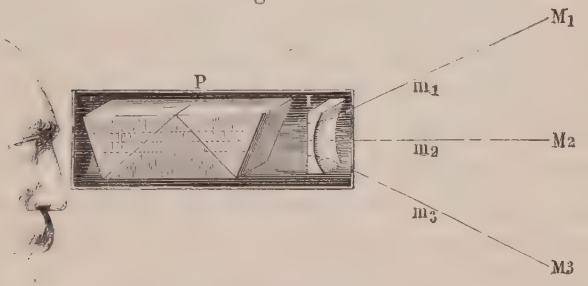
Diesen äusserst wichtigen Aufschlüssen gegenüber, welche die directe Beobachtung und der Scharfsinn der Astronomen in der neuesten Zeit über die Natur und den Zusammenhang der Nebelflecke, Kometen, Sternschnuppen und Feuerkugeln zu Tage gefördert hat, sind die Ergebnisse der Spectralanalyse über diese letzteren Meteore noch sehr dürftig. Es ist dieses leicht zu begreifen, wenn man bedenkt, mit welcher Geschwindigkeit diese feurigen Meteore durch unsere Atmosphäre ziehen und wie schwer es ist, dieselben in dem Augenblicke, wo sie sich zeigen, mit dem Spectroskope zu erfassen. Bevor das Instrument auf eine Sternschnuppe oder eine Feuerkugel gerichtet und scharf eingestellt ist, hat sich dieselbe dem Gesichtskreise wieder entzogen. So bleibt denn die Anwendung der Spectralanalyse auf diese flüchtigen Gäste fast ganz der Gunst des Zufalls überlassen und beschränkt sich fast ausschliesslich auf diejenigen Nächte, in denen alljährlich oder in bestimmten Perioden ein zahlreicher Sternschnuppenfall im Voraus erwartet werden kann.

Schon im Jahre 1865 wurde von Alexander Herschel auf Grund einiger wenigen spectroskopischen Beobachtungen, denen zufolge das Spectrum der Sternschnuppen sich als ein continuirliches, nicht durch dunkle Linien unterbrochenes erwies, auf den in dem nächsten Jahre zu erwartenden reichen Sternschnuppenfall hingewiesen und zu spectroskopischen Beobachtungen derselben aufgefordert. John Browning, ein Meister in der Anfertigung von Spectralapparaten, unterzog sich demzufolge in den Nächten des 9. und 10. August, sowie in den Morgenstunden des 14. November auf dem Observatorium zu

Upper Halloway bei London dieser Untersuchung und beobachtete im Ganzen 70 Spectra von Sternschnuppen-Kernen und -Schweifen.

Zu diesen Beobachtungen ist das S. 325 beschriebene Handspectrum von Huggins, wie es von Browning für die directe Beobachtung der Sonnenumgebung während der Sonnenfinsternisse construirt worden ist, durchaus geeignet. Noch besser ist jedoch das in Fig. 158 abgebildete,

Fig. 158.



Browning's Meteorspectroskop.

von Browning für seine Untersuchungen der Sternschnuppenspectren speciell construirte Instrument, durch welches die scheinbare Winkelgeschwindigkeit der in Bewegung befindlichen Meteore vermindert erscheint und welches wegen des grossen Gesichtsfeldes, das es am Himmel umspannt, die Beobachtung einer fliegenden Sternschnuppe sehr erleichtert.

Dasselbe besteht aus einem Prismensysteme P zum Geradaussehen und einer plan-concaven Cylinderlinse L. Bezeichnen M_1, M_2, M_3 drei aufeinander folgende Oerter in der Flugbahn eines Meteors, und m_1, m_2, m_3 die Systeme von Lichtstrahlen, welche das Meteor gegen die

Linse L aussendet, so werden letztere so gebrochen, wie es durch die punktirten Linien angedeutet ist. Der Strahl m_1 trifft sowohl das hinter den Prismen befindliche Auge, als der Strahl m_3; das Auge übersieht daher am Himmel den grossen Raum zwischen M_1 und M_3 und das in dieser Bahn dahinschiessende Meteor mit einem Blick, ohne dass es nöthig wäre, das Instrument zu bewegen. In einem solchen Spectroskope scheint die Sternschnuppe stille zu stehen und man kann ihr Spectrum ohne Mühe beobachten. Browning konnte mit Hülfe eines solchen Meteorspectroskopes sogar die Spectren von Leuchtkugeln erkennen, welche nur wenige Schritte von dem Beobachter in die Höhe geworfen wurden; obgleich die Winkelgeschwindigkeit solcher Kugeln sehr gross ist, so werden doch die charakteristischen Linien der in ihnen glühenden Metalle Baryum, Strontium u. s. w. mit völliger Deutlichkeit wahrgenommen. Setzt man eine biconcave Linse von grösserer Brennweite, als diejenige der Cylinderlinse L ist, vor diese letztere Linse, dem Himmelsraume zugewandt, so werden Strahlen von noch grösserer Convergenz, die über M_1 und M_3 hinausgehen, dem Auge zugeführt, und es wird das Gesichtsfeld des Instruments dadurch noch vergrössert.

Browning richtete bei seinen Sternschnuppen-Beobachtungen das Prisma auf diejenigen Punkte des Himmels, aus welchen die Meteore herkamen, und so gelang es, unter der grossen Anzahl derselben einige wenige im Gesichtsfelde des Instrumentes zu erhalten und den Hauptcharakter ihrer Spectra zu beobachten.

Die Spectra der Meteorkerne waren meist continuirlich, in denen man alle prismatische Farben des Sonnenspec-

trums sah mit Ausnahme des Violett. In einzelnen Fällen herrschte jedoch in dem Spectrum das Gelb vor, in anderen bestand es fast vollständig aus homogenem gelbem Lichte, zeigte aber zugleich alle übrigen Farben vom Roth bis zum Grün in sehr schwachem Grade; in zwei Fällen bestand das Spectrum aus homogenem grünen Lichte. Ein bemerkenswerther Unterschied in den Kernen der August- und November-Meteore gab sich nicht zu erkennen.

Bei den August-Meteoren blieb in dem Spectrum der Schweife oder der von den Sternschnuppen zurückgelassenen Lichtspuren, wenn derselbe zu verschwinden anfing, im Allgemeinen nur eine gelbe Linie von intensivem Glanze, die unverkennbar das Vorhandensein von selbstleuchtenden Gasen anzeigte und nur mit der Linie des glühenden Natriums verglichen werden konnte.

Bei den November-Meteoren war dagegen der vorherrschende Charakter der Spectra der Schweife Continuität und Breite, aber Fehlen von aller Farbe. Das Licht, welches vorzugsweise blau, grün oder stahlgrau war, schien im Allgemeinen homogen zu sein; doch kann dieses Aussehen daher kommen, dass das Licht zu schwach war, um ein sichtbares Spectrum zu erzeugen, wie auch in dem Spectrum der Sterne unter der zweiten und dritten Grösse stets das Roth und das Blau fehlt, obgleich dasselbe in dem Lichte der Sterne ohne Zweifel vorhanden ist. Die gelbe Linie, welche die Schweife der August-Meteore gaben, fehlte in denen der November-Meteore vollständig.

Das hauptsächlichste Resultat dieser Untersuchungen

beschränkt sich daher auf die Festsetzung der Thatsache, dass die Kerne dieser Meteore glühende feste Körper sind und dass in der chemischen Zusammensetzung zwischen den Meteoren der August- und der November-Periode ein Unterschied besteht.

Das November-Phänomen des Jahres 1868 wurde u. A. von Secchi beobachtet; unter der grossen Zahl von Sternschnuppen, welche einen Schweif hinterliessen, war eine, deren Lichtspur 15 Minuten lang andauerte und im Anfange so stark glänzte, dass das Licht mit dem Prisma geprüft werden konnte. Secchi fand das Spectrum discontinuirlich, und zwar waren die hauptsächlichsten hellen Streifen und Linien roth, gelb, grün und blau. Ausserdem glückte es Secchi, zwei Sternschnuppen im Spectroskope zu sehen; die Magnesium-Linie erschien sehr schön; ausserdem zeigten sich noch Linien im Roth.

Bei der grossen Schwierigkeit, die Sternschnuppen durch eine enge Spaltöffnung zu beobachten, sind die gewöhnlichen Spectralapparate für diese Zwecke nicht geeignet; die Handspectroskope aber, wie wir sie auf S. 325 beschrieben haben, können keine scharfen Linien geben, selbst wenn die Meteore Elemente enthalten, die in dem gewöhnlichen Spectroskope helle Linien erzeugen würden. Es bleibt daher nur übrig, den Spalt durch eine Cylinderlinse zu ersetzen, und es dürfte keinem Zweifel unterliegen, dass Apparate dieser Art bei der spectralanalytischen Untersuchung der Sternschnuppen für die Zukunft mit Erfolg benutzt werden können.

62. Die Spectra der Blitze.

Bei der Identität, welche im Allgemeinen zwischen dem Blitze und dem elektrischen Funken besteht, konnte man erwarten, dass das Spectrum der Blitze gleich sein würde dem durch die gewöhnliche elektrische Entladung in der Luft erzeugten Funkenspectrum, und dass es daher aus hellen, vorzugsweise dem Stickstoff der atmosphärischen Luft angehörigen Linien bestehen werde. In der That fand auch Lieutenant Herschel bei der Gelegenheit, wo während eines Sturmes sehr viele Blitze auftraten, in einem Handspectroskope (Fig. 109) zahlreiche helle Linien auftreten, unter denen die blaue Stickstofflinie die hellste, ausserdem aber die rothe Wasserstofflinie *Hα* vorhanden zu sein schien. Ausser diesem Linienspectrum erschien aber zugleich ein helles continuirliches Spectrum, in welchem alle Hauptfarben glänzten.

Ausführlichere Beobachtungen über diesen Gegenstand verdanken wir Prof. Kundt in Zürich, welcher mit einem Taschenspectroskope zu verschiedenen Zeiten fünfzig Blitze analysirte. Neben den Spectren, die aus hellen Linien bestanden, traten regelmässig auch solche auf, welche eine grosse Anzahl schwächerer, etwas breiterer und ziemlich gleichmässig nahe zusammenstehender Bänder zeigten.

Die Linienspectren zeigten besonders eine, zuweilen zwei Linien im äussersten Roth, einige sehr helle Linien im Grün und einige etwas weniger helle im Blau, daneben noch eine grössere Anzahl schwächerer, aber meist ebenfalls scharf begrenzter Linien. Es ergab sich bei den ver-

schiedenen Blitzen insofern eine Verschiedenheit, als Linien, die bei einem Blitze sehr hell aufleuchteten, bei einem andern gar nicht erschienen, während dafür sich solche zeigten, die bei manchen anderen Spectren fehlten.

Ebenso verschieden waren die Bandenspectra, da die farbigen Bänder bei einigen Blitzen besonders im Blau und Violett, bei anderen auch noch im Grün und selbst vereinzelt im Roth auftraten.

In den meisten Fällen hatte jeder Blitz nur eines dieser Spectren, und zwar kamen die Linienspectren von Funken- oder sogenannten Zickzack-Blitzen, die Bandenspectren dagegen von dem blossen Blitzleuchten ohne markirten Funken, oder von den sogenannten Flächenblitzen; in ein paar Fällen aber gab ein und derselbe Blitz im ersten Momente seines Auftretens ein sehr helles, scharfes Linienspectrum, dann aber plötzlich ein Spectrum von gleichmässigen Banden.

Die beiden Arten von Spectren entsprechen zugleich den verschiedenen Farben, in welchen die beiden genannten Blitzarten dem blossen Auge erscheinen; das Licht der scharf markirten Zickzackblitze ist meist weiss, das der Flächenblitze dagegen meist roth, zuweilen auch violett und bläulich. In Uebereinstimmung hiermit zeigen auch die elektrischen Entladungen an unseren Elektrisirmaschinen verschiedene Färbungen, je nachdem sie in der Form eines Funkens oder Büschels auftreten. Während das Licht des Funkens in der Luft je nach der Natur der Körper, zwischen denen er überspringt, mehr oder weniger weiss ist, ist die Farbe der elektrischen Büschel roth oder violett, die der sogenannten Glimmentladung violett oder

bläulich. Das Licht des elektrischen Funkens zeigt stets ein Linienspectrum, das der Büschel- oder der Glimmentladung dagegen ein Bandenspectrum.

Die Untersuchungen von Prof. Kundt führen daher zu dem Ergebnisse, dass die Verschiedenheit der Blitzspectren in einer verschiedenen Entladungsweise der atmosphärischen Elektricität theils der Erde, theils den Wolken gegenüber ihren Grund hat. Erfolgt die Entladung einer elektrischen Wolke nach der Erde hin, so geschieht dieses nach vorgängiger hoher Spannung und voraussichtlich unter sehr hoher Temperatur vermittelst eines Funkens oder eines Zickzackblitzes, der zunächst durch die atmosphärische Luft, also durch ein Gasgemenge von Sauerstoff, Stickstoff, Wasserdampf und Kohlensäure schlägt. Je nachdem dabei das eine oder das andere dieser Gase oder mehrere zugleich ins Glühen kommen, erhält das Linien-Blitzspectrum ein verschiedenartiges Ansehen. Wenn dagegen die Entladung einer Wolke nach einer andern Wolke hin erfolgt, so geschieht dieselbe meist in Büschelform, weil in Folge der vorgängigen elektrischen Anziehung beide Wolken zugespitzte oder zackige Formen annehmen und unter solchen Umständen in der Regel starke Spannungen nicht eintreten, vielmehr die Entladung in mehreren einzelnen rasch nach einander folgenden, einen Büschel bildenden Strahlen vor sich geht. Dem entspricht dann auch die Verschiedenheit des Geräusches, von welchem die verschiedenen Entladungen der gespannten Elektricität begleitet sind. Erfolgt dieselbe durch einen Funken, so hört man bekanntlich einen einfachen, scharfen Knall; die Büschelentladung tritt nie unter einem einfachen Knall, sondern allemal

unter einem zischenden, aus prasselnden und einer Reihe von einzelnen, rasch nach einander folgenden leichteren Knallen bestehenden Geräusche auf; die Glimmentladung endlich vollzieht sich ganz geräuschlos.

Alle diese Erscheinungen führen zu einer einfachen und ungezwungenen Erklärung über die Verschiedenartigkeit der Blitze in den einzelnen Formen des Zickzackfunkens, des Flächenblitzes und des Wetterleuchtens, sowie andererseits des damit verbundenen Geräusches in der Form des einfachen Schlages und des Rollens des Donners; doch regen die bisherigen wenigen Beobachtungen über die Spectra der Blitze eine Reihe von anderen Fragen an, zu deren Erledigung es noch der fortgesetzten Beobachtung bedarf.

63. Das Spectrum des Nordlichtes.

Die prachtvollen Lichterscheinungen, welche ein starkes Nordlicht darbietet, sind stets mit mehr oder weniger heftigen Einwirkungen auf die Magnetnadel verbunden, so dass man längst vermuthet hat, dass das Nordlicht nichts anderes sei, als eine geräuschlose Ausgleichung der beiden entgegengesetzten Elektricitäten in hohen und daher sehr verdünnten Luftschichten, eine Art Glimmentladung oder ein elektrischer Lichtschein, wie er sich in den Geissler'schen, mit sehr verdünnter Luft gefüllten Röhren (§ 12) zu zeigen pflegt, wenn durch dieselben eine elektrische Entladung vermittelt wird.

Die spectralanalytischen Beobachtungen Angström's scheinen dieses nicht zu bestätigen, denn das Spectrum

des leuchtenden Bogens, der das dunkle Segment umsäumt und bei schwachen Nordlichtern nie fehlt, besteht in einer einzigen hellen Linie, welche links von der bekannten Kaliumgruppe des Sonnenspectrums liegt. Ausser dieser relativ sehr intensiven Linie beobachtete Angström bei gehörig erweitertem Spalte noch Spuren von drei sehr schwachen Streifen, die sich fast bis an die Fraunhofer'sche *F*-Linie erstrecken, und nur ein einziges Mal traten bei einem durch Undulationen sehr bewegten Lichtbogen in den bezeichneten Regionen einige schwache Linien auf. Das Licht der Nordlichter ist daher beinahe einfarbig (monochromatisch). Was diesen im Winter von 1867 auf 1868 gemachten Beobachtungen eine besondere Wichtigkeit verleiht, ist der Umstand, dass das Zodiakallicht, welches Angström im März 1867 in einer für die Breite von Upsala ganz ausserordentlichen Intensität eine Woche hindurch beobachtete, genau dieselbe helle Spectrallinie zeigt, und in einer sternhellen Nacht, wo der ganze Himmel zu phosphoresciren schien, selbst in dem schwachen Lichte, welches von allen Gegenden des Himmelsgewölbes ausging, Spuren dieses einfarbigen Lichtes in dem Spectroskope auftraten.

Die genannte helle Linie, deren Lage Struve in Pulkowa mit einem wahrscheinlichen Fehler von 10 bis 15 Einheiten als Nr. 1259 der Kirchhoff'schen Scala (zwischen *D* und *E*) angegeben hat, entspricht nach Angström einer Farbe von der Wellenlänge 0,0005567 Millimeter und fällt mit keiner der bekannten Linien in den Spectren der irdischen Stoffe zusammen.

Das Nordlicht, welches am 15. April 1869 in West-

Europa, in Russland und in Amerika weithin sichtbar war und das sich in New-York zu einer prachtvollen Erscheinung gestaltete, wurde daselbst von Professor Winlock mit dem Spectroskope beobachtet. Derselbe fand das Spectrum im Gegensatze zu den europäischen Beobachtungen aus fünf hellen Linien bestehend, deren Lage er genau ermitteln konnte.

Auch auf diesem Gebiete bedarf es noch vielfach der Ergänzungen; aber die bereits gewonnenen Resultate berechtigen zu der Erwartung, dass fortgesetzte spectralanalytische Beobachtungen, namentlich in Gegenden innerhalb des Polarkreises, in naher Zeit zur Aufklärung des gegenwärtig noch vollständig räthselhaften Phänomens des Nordlichtes führen werden.

University of Maine
3 7555 01289109 9